



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA – ECONÓMICA DE  
LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA  
“EL ALTAR”**

**VELASCO CASTELO GEOCONDA MARISELA.  
CÁRDENAS HUILCA MARCELO GABRIEL.**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

**Espoch**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**Diciembre, 17 del 2012**

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**GEOCONDA MARISELA VELASCO CASTELO.**

---

Titulada:

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA EL ALTAR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Pacífico Riofrío R.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Ivan Cantos C.  
ASESOR DE TESIS

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** GEOCONDA MARISELA VELASCO CASTELO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO  
ECONÓMICA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL ALTAR”

**Fecha de Exanimación:** Diciembre, 17, del 2012

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán G. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Pacífico Riofrío R. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Iván Cantos (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

**Espoch**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**Diciembre, 17, del 2012**

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**MARCELO GABRIEL CÁRDENAS HUILCA**

---

Titulada:

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA EL ALTAR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Pacífico Riofrío R.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Ivan Cantos C.  
ASESOR DE TESIS



---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MARCELO GABRIEL CÁRDENAS HUILCA

**TÍTULO DE LA TESIS**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA EL ALTAR”**

**Fecha de Exanimación:** Diciembre, 17, del 2012.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán G. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Pacífico Riofrío R. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Iván Cantos (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos extender el más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Mecánica, que fue nuestro segundo hogar durante los más valiosos años de nuestra vida, que nos brindó la sapiencia para que hoy como profesionales podamos aplicarlos en el beneficio de la sociedad.

Al Ing. José Riofrio R. y al Ing. Iván Cantos C. quienes con su sabiduría y paciencia nos supieron guiar en las dificultades que encontrábamos.

A la comunidad de la parroquia “EL ALTAR” en su nombre del Sr. Miguel Martínez, Presidente del Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia El Altar, quienes supieron darnos todas las facilidades y prestaciones que se iban requiriendo.

Y finalmente a todas aquellas que con sus conocimientos supieron contribuir en el feliz término de este proyecto.

**G.M.V.C.**

**M.G.C.H.**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo quiero dedicarlo en primer lugar a Dios y a la Virgen por haber guiado mi camino con mucha fé y amor .A mis padres Nelly y Onofre que estuvieron junto a mí apoyando cada paso de mi vida, brindándome amor y confianza en mí mismo y sobre todo creyendo en mí. A mi esposo Francisco que estuvo a mi lado en forma incondicional brindándome su respeto, paciencia y amor .A mi hijo Francisco quien es mi inspiración para lograr metas que poco a poco he propuesto en mi camino .A mi familia política Luna Murillo quienes de manera afectiva contribuyeron al desarrollo del proyecto el cual está plasmado en dicha tesis.

En general a todos mis familiares y amigos que de una u otra forma fueron parte de este sueño.

**G.M.V.C.**

Este trabajo quiero dedicarlo a Dios y la Virgen por colmarme de bendiciones en cada momento de dificultad. A mis padres Abelardo y Jobita que siempre confiaron en mí y con su sabiduría y amor han sabido inculcar en mi valores que me lleven a la culminación de una etapa más en mi vida. A mi hermano Alejandro y mi hermana Cristina, que siempre estuvieron ahí apoyándome, confiando en mí y brindándome ese amor que hacen de nosotros una sola familia. A mis sobrinas Sofy, Alvi y Ma. Paz que con su sonrisa dulce fueron la inspiración en momentos de dificultad. A mis abuelos y abuelas que siempre con su buen ejemplo supieron hacer de todos unas personas de bien.

En fin a todos mis familiares y amigos quienes son parte de mi vida.

**M.G.C.H**



## **RESUMEN**

El presente proyecto, tiene como finalidad la realización de un estudio de factibilidad técnica económica de la central hidroeléctrica “EL ALTAR”, para la parroquia de El Altar, perteneciente al cantón Penipe de la provincia de Chimborazo, para lo cual aprovechando el caudal de agua que posee el cauce del río Puela y realizando el análisis respectivo, se determinó que se podrá utilizar  $9,75 \text{ m}^3/\text{s}$  y aprovechando una caída de agua de 164 metros, para la generación de 10MWatts de potencia eléctrica.

El Sistema de Generación consiste en la unión de elementos civiles y mecánicos, mismos que se emplearan en el diseño de un Sistema de Captación de agua mediante una Bocatoma Lateral. Por la geografía de la zona se hizo imprescindible el diseño de tres tramos de conducción, mismos que estarán dispuestos de forma: canal abierto, túnel tipo baúl, canal abierto, para así conducir el agua hacia un tanque de carga que alimentara a 2 tramos en paralelo de la Tubería de Presión, los cuales suministrarán energía hidráulica a las 4 unidades generadoras.

Se ha propuesto por unidad de generación una turbina Pelton de eje vertical y 4 inyectores, misma que se acoplara a un generador de sincrónico de 12 polos, mismos que girarán a una velocidad de 600 rpm.

El proyecto tendría un costo aproximado de 20 835 783,54 USD, inversión que podría ser recuperada en 6 años, demostrado que es técnica – económicamente factible el proyecto.

A más se realizó el estudio preliminar de impacto ambiental, con la finalidad de conocer los posibles daños medio ambientales que se podría generar en caso de implementarse el proyecto en mención.

## SUMMARY

This project aims to carry out a technical and economic feasibility study of the hydroelectric plant "the altar" to the parish of El Altar, belonging to the canton Penipe Chimborazo province, for which taking advantage of the water flow who owns the riverbed Puela and performing the respective analysis, it was determined that 9.75 m<sup>3</sup> may use leveraging a waterfall of 164 meters, for the generation of electric power 10MWatts.

The generation system consists of the union of civil and mechanical elements, same as were used in the design of a water harvesting system by Side Intake. Given the geography of the area became essential design driving three sections, which are themselves arranged: open channel, tunnel type trunk, open channel, so bring water to a cargo tank to feed up 2 flights in parallel to the pressure line, which provide hydraulic power generating units at 4.

It has been proposed for generating one unit of vertical axis Pelton turbine and 4 nozzles, it is docked to a synchronous generator 12 poles same rotate at a speed of 600 rpm.

The project would cost approximately investment that could be recovered in six years, demonstrated the technique - economically feasible.

A further study was conducted preliminary environmental impact, in order to know the possible environmental damage that could be generated if implemented the project in question.

## CONTENIDO

Pág.

<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES.</b>	
1.1	Antecedentes. ....	1
1.2	Justificaciones.....	1
1.2.1	Justificación técnica. ....	2
1.2.2	Justificación económica. ....	2
1.2.3	Justificación social. ....	2
1.2.4	Justificación ecológica. ....	3
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general. ....	3
1.3.2	Objetivos específicos. ....	3
<b>2.</b>	<b>INFORMACIÓN BÁSICA DE LA ZONA DE INFLUENCIA.</b>	
2.1	Localización geográfica y política de la zona del proyecto.....	4
2.2	Número habitantes en la parroquia. ....	4
2.3	Topografía de la zona.....	5
2.4	Recursos hídricos. ....	6
2.5	Uso del suelo ....	6
2.6	Servicios básicos. ....	7
2.6.1	Agua Potable. ....	7
2.6.2	Energía eléctrica. ....	7
2.6.3	Telefonía fija, móvil e internet. ....	8
2.6.4	Educación. ....	8
2.6.5	Salud.....	8
2.6.6	Alcantarillado. ....	8
2.7	Aspectos socio-económicos. ....	9
2.7.1	Fuentes de ingreso ....	9
2.7.2	Microempresas ....	9
2.7.3	Centros turísticos.....	10
<b>3.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	
3.1	Captación ....	11
3.2	Sistema de conducción ....	12
3.2.1	Azud o presa de derivación.....	13
3.2.2	Rejilla de admisión.....	13
3.2.3	Colector.....	13

3.2.4	Canal de conducción .....	14
3.2.5	Túnel de conducción.....	17
3.3	Aliviaderos.....	19
3.4	Desarenador.....	20
3.4.1	Tipos de desarenadores .....	22
3.4.1.1	Desarenadores de lavado intermitente.....	22
3.4.1.2	Desarenadores de cámara doble. ....	23
3.4.1.3	Desarenadores de lavado continuo. ....	23
3.4.2	Secciones de ingreso del desarenador .....	26
3.4.3	Limpieza de desarenadores y corte del agua .....	26
3.5	Tanque De Presión O Cámara De Carga .....	27
3.5.1	Dimensionamiento de la cámara de carga .....	29
3.6	Tubería de presión.....	31
3.6.1	Selección de la tubería de presión.....	34
3.6.2	Materiales.....	34
3.6.3	Tipos de uniones.....	36
3.6.3.1	Uniones con bridas. ....	36
3.6.3.2	Espiga y campana. ....	36
3.6.3.3	Uniones mecánicas. ....	37
3.6.3.4	Uniones soldadas. ....	37
3.6.3.5	Juntas de expansión. ....	37
3.6.4	Sistemas de apoyo y anclajes.....	37
3.6.5	Golpe de ariete .....	38
3.6.6	Chimenea de equilibrio. ....	38
3.7	Casa de máquinas. ....	39
3.7.1	Ubicación.....	40
3.7.2	Válvulas .....	40
3.7.2.1	Válvula mariposa. ....	40
3.7.2.2	Válvula de compuerta. ....	41
3.7.2.3	Válvulas esféricas. ....	41
3.8	Turbinas .....	41
3.8.1	Turbina de acción pelton .....	42
3.8.1.1	Características.....	43
3.8.2	Turbinas de reacción .....	43



3.8.2.1	Turbina Michell-Banki .....	44
3.8.2.2	Turbina Francis .....	44
3.8.2.3	Turbina Kaplan .....,.....	45
3.8.2.4	Otras Turbinas .....	46
3.9	Alternadores.....	47
3.9.1	Partes de un alternador .....	47
3.9.2	Características constructivas.....	48
3.9.2.1	Inductor. ....	48
3.9.2.2	Inducido. ....	48
3.9.3	Alternadores síncronos .....	49
3.9.4	Subestación eléctrica .....	51
3.9.5	Red de transporte de energía eléctrica .....	52
3.9.6	Red de distribución de la energía eléctrica.....	54
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO DE INGENIERÍA BÁSICA</b>	
4.1	Parámetros del proyecto .....	56
4.2	Topografía.....	56
4.3	Objetivos. ....	56
4.4	Puntos de enlace GPS.....	57
4.5	Levantamiento topográfico.....	59
4.6	Determinación de altura bruta. ....	61
4.7	Hidrología.....	63
4.8	Climatología.....	63
4.9	Características de escurrimiento y red hidrológica.....	64
4.10	Caudales máximos, mínimos y promedio.....	64
4.11	Caudal de diseño.....	72
4.12	Geología y geotecnia.....	72
4.13	Impacto ambiental.....	73
4.14	Identificación y evaluación de impactos.....	73
4.15	Plan de manejo ambiental.....	75

4.16	Plan de prevención de impacto.....	75
------	------------------------------------	----

## 5. DISEÑO DE OBRAS CIVILES

5.1	Diseño de la presa o azud.....	78
5.1.1	Temperatura promedio del agua en la zona del proyecto.....	79
5.1.2	Caudal de avenida y estiaje. ....	79
5.1.3	Ancho local del río. ....	79
5.1.4	Velocidad de acercamiento del río.....	79
5.1.5	Altura del azud. ....	80
5.1.6	Factores de forma de coronamiento.....	80
5.1.7	Altura de carga sobre el azud.....	81
5.1.8	Velocidad del agua sobre la cresta del azud ....	81
5.1.9	Cálculo de la energía cinética ....	81
5.1.10	Cálculo de la altura total del agua sobre el lecho del río.....	82
5.1.11	Altura de caída de agua ....	82
5.1.11.1	Cálculo de la velocidad de la caída del agua $v_1$ ....	82
5.1.12	Cálculo del caudal de agua sobre el azud por metro lineal.....	83
5.1.13	Cálculo de la altura del agua al final del azud $h_1$ ....	83
5.1.14	Cálculo de la profundidad del colchón ....	83
5.1.15	Cálculo de la cota vertical del azud ....	84
5.1.16	Cálculo para determinar la primera condición de diseño del azud.....	85
5.1.17	Cálculo de la altura del diente al final del zampeado E. ....	85
5.1.18	Cálculo de la longitud de la cuenca $L_z$ ....	85
5.1.19	Cálculo del diámetro medio del material ....	86
5.1.20	Cálculo de la profundidad de protección aguas abajo $d_s$ .....	87
5.1.21	Cálculo de la longitud de protección aguas abajo $l_s$ ....	87
5.1.22	Cálculo de la distancia de protección aguas abajo $d_o$ ....	87
5.1.23	Verificación de la estabilidad del azud ....	88

5.1.24	Verificación del deslizamiento del azud .....	93
5.1.25	Verificación al volteo del azud.....	96
5.1.26	Diseño de compuertas de mantenimiento.....	97
5.2	Diseño de la bocatoma.....	99
5.2.1	Parámetros para el diseño de la bocatoma .....	100
5.3	Diseño del desripeador.....	106
5.3.1	Parámetros para el diseño del desripeador .....	107
5.3.1.1	Cálculo de ancho del vertedero b2 .....	108
5.3.1.2	Cálculo de la velocidad del agua .....	111
5.3.1.3	Cálculo de la longitud del desripeador .....	112
5.3.1.4	Cálculo del ancho del desripeador .....	112
5.3.1.5	Cálculo de la compuerta de lavado .....	113
5.3.1.6	Cálculo de la transición entre el desripeador y canal .....	117
5.4	Diseño de la conducción .....	118
5.4.1	Túnel de conducción.. .....	120
5.4.1.1	Diseño de la sección del túnel .....	120
5.4.1.2	Cálculo del área mojada .....	121
5.4.1.3	Cálculo del perímetro mojado .....	121
5.4.1.4	Cálculo del radio hidráulico .....	122
5.4.1.5	Cálculo de su caudal de diseño .....	122
5.4.1.6	Cálculo de la altura total del interior del túnel .....	124
5.4.1.7	Cálculo del ancho total del interior del túnel .....	124
5.4.1.8	Cálculo del área de excavación .....	124
5.4.1.9	Cálculo del área interior .....	124
5.4.1.10	Cálculo del área de revestimiento .....	125
5.4.1.11	Cálculo de las pérdidas de carga existentes .....	125
5.4.2	Canal de conducción .....	131

5.4.2.1	Pre-diseño del canal abierto de conducción .....	132
5.4.2.2	Cálculo del caudal de diseño .....	132
5.4.2.3	Cálculo de la velocidad de diseño de conducción .....	133
5.4.2.4	Cálculo de la sección requerida .....	133
5.4.2.5	Cálculo del tirante del canal.....	133
5.4.2.6	Cálculo de la altura total del canal .....	133
5.4.2.7	Cálculo de la ancho de la plantilla del canal.....	133
5.4.2.8	Cálculo del ancho superior del canal.....	134
5.4.2.9	Cálculo del perímetro mojado .....	134
5.4.2.10	Cálculo del radio hidráulico.....	134
5.4.2.11	Cálculo del gradiente del canal .....	134
5.4.2.12	Cálculo de la velocidad real en el canal .....	135
5.4.2.13	Cálculo de las pérdidas de carga existentes .....	136
5.4.2.14	Diseño del aliviadero .....	142
5.4.2.15	Obras complementarias en el canal.....	145
5.4.2.16	Altura de seguridad .....	145
5.4.3	Tubería de conducción .....	146
5.4.3.1	Selección del diámetro de la tubería de conducción.....	147
5.5	Diseño del desarenador .....	153
5.5.1	Cálculo de la fuerza de empuje .....	154
5.5.2	Cálculo de la longitud del desarenador .....	155
5.5.3	Cálculo del tiempo de decantación y sedimentación .....	155
5.5.4	Cálculo del ancho del desarenador .....	156
5.5.5	Cálculo de la longitud de la base del desarenador ld .....	156
5.5.6	Cálculo de la capacidad del tanque colector m, y frecuencia del depósito ...	157
5.5.7	Cálculo del volumen del sedimento .....	158
5.5.8	Cálculo de la profundidad del colector dr .....	158

5.5.9	Cálculo de la transición a la salida del desarenador .....	159
5.5.10	Cálculo de la transición a la entrada del desarenador .....	159
5.5.11	Cálculo del encofrado del desarenador.....	160
5.5.12	Cálculo de las paredes del tanque.....	160
5.6	Estudio de alternativas para el sistema de presión.....	161
5.7	Cámara de carga.....	162
5.7.1	Dimensionamiento del tanque de presión .....	162
5.7.1.1	Cálculo del volumen del tanque de presión .....	164
5.7.1.2	Cálculo del diámetro de tubería de presión según bondush.....	165
5.7.1.3	Cálculo de la altura mínima de agua sobre la tubería de presión htb .....	167
5.7.1.4	Cálculo de la longitud del tanque de presión .....	168
5.7.2	Golpe de ariete.....	169
5.7.3	Selección del diámetro de la tubería de presión .....	171
5.7.3.1	Selección del material de la tubería de presión .....	172
5.7.3.2	Cálculo de la velocidad de agua que fluye por las diferentes tuberías.....	173
5.7.4	Cálculo de pérdidas en las tuberías de presión.....	174
5.7.4.1	Pérdidas primarias o de superficie .....	174
5.7.4.2	Pérdidas secundarias o de forma.....	176
5.7.4.3	Cálculo de pérdidas totales .....	182
5.7.5	Cálculo de porcentaje de pérdidas .....	182
5.7.6	Cálculo del espesor mínimo de la tubería de presión $e'$ .....	183
5.8	Cálculo de las tensiones en la tubería de presión .....	184
5.8.1	Tensión tangencial por golpe de ariete .....	185
5.8.2	Cálculo de la tensión longitudinal por variación de la temperatura .....	186
5.8.3	Cálculo de la tensión longitudinal por presión hidrostática.....	187
5.8.4	Cálculo de la tensión longitudinal por flexión entre apoyos.....	188
5.8.4.1	Cálculo de la longitud máxima admisible entre apoyos .....	189

5.8.4.2	Determinación de la longitud entre apoyos .....	189
5.8.5	Cálculo de la tensión longitudinal por variación de pendiente .....	191
5.8.6	Cálculo del esfuerzo equivalente .....	192
5.8.7	Cálculo de coeficiente de seguridad para la tubería a presión .....	193
5.8.8	Análisis y selección final de la tubería de presión.....	194
5.8.9	Chimenea de equilibrio o almenara .....	198
5.9	Diseño del sistema de apoyos. ....	203
5.9.1	Diseño de bloques de apoyo.....	204
5.9.2	Fuerzas actuantes sobre los apoyos .....	207
5.9.3	Verificación de estabilidad del apoyo .....	212
5.9.4	Condición de resistencia al terreno .....	214
5.9.5	Diseño de bloques de anclaje .....	217
5.9.5.1	Diseño y dimensionamiento de anclajes .....	219
5.9.5.2	Cálculo de las fuerzas actuantes sobre los anclajes.....	222
5.9.5.3	Verificación de estabilidad de los anclajes .....	233
<b>6.</b>	<b>SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO</b>	
6.1	Parámetros fundamentales de diseño.....	238
6.2	Altura o salto neto. ....	239
6.3	Potencia al eje de la turbina hidráulica.....	239
6.4	Potencia del sistema de transmisión turbina-generador.....	241
6.5	Velocidades específicas.....	241
6.6	Rango de aplicación de las turbinas hidráulicas.....	242
6.7	Alternativas de diseño. ....	244
6.7.1	Primera alternativa.....	244
6.7.1.1	Potencia en el eje de la turbina .....	245
6.7.1.2	Selección del tipo de turbina. ....	245
6.7.1.3	Cálculo de las velocidad específica en función de la potencia .....	246
6.7.1.4	Cálculo de las velocidad específica en función del caudal.....	247
6.7.1.5	Cálculo de la potencia eléctrica.....	248
6.7.2	Diseño de la segunda alternativa. ....	248

6.7.2.1	Cálculo de la potencia en el eje de la turbina .....	249
6.7.2.2	Cálculo de la velocidad específica en función de la potencia.....	249
6.7.2.3	Cálculo de la velocidad específica en función del caudal .....	250
6.7.2.4	Cálculo de la potencia eléctrica. ....	250
6.8	Selección de alternativa de generación. ....	251
6.9	Diseño hidráulico de la turbina.....	251
6.9.1	Cálculo del diámetro Pelton .....	252
6.9.2	Geometría del inyector.....	252
6.9.3	Dimensionamiento de la tobera.....	253
6.9.4	Geometría del rodete.....	255
6.9.5	Diseño y cálculo del rodete.....	257
6.10	Cálculo del diámetro de tubería de entrada a la turbina.....	258
6.11	Dimensionamiento de la turbina hidráulica.....	259
6.12	Generación eléctrica .....	261
6.13	Diseño y selección del sistema de transmisión:.....	261
6.14	Especificaciones técnicas de los equipos electromecánicos.....	262
6.15	Esquema del grupo de generación seleccionado.....	263

## **7. ANÁLISIS DE PRESUPUESTOS Y COSTOS DEL PROYECTO**

7.1	Costos de inversión.....	264
7.1.1	Costos directos .....	264
7.1.1.1	Costos de materiales .....	264
7.1.1.2	Costos de mano de obra .....	266
7.1.1.3	Costos de equipos y maquinaria .....	267
7.1.1.4	Costos de transporte.....	267
7.1.2	Costos indirectos.....	268
7.1.2.1	Costos de ingeniería básica y de detalle.....	268
7.1.2.2	Costos de imprevistos.....	269
7.1.3	Costo total de la inversión.....	269
7.2	Costos de operación y mantenimiento.....	270
7.2.1	Costos de mantenimiento anual.....	270
7.2.2	Costos de mantenimiento anual.....	270
7.3	Beneficios:.....	272
7.3.1	Cálculo de la venta de energía.....	272

7.4	Valor de la depreciación.....	273
7.5	Elaboración del cuadro flujo de caja:.....	274
7.5.1	Cálculo de flujo de caja interna.....	274
7.6	Evaluación económica,.....	275
7.6.1	Cálculo del valor actual neto.....	275
7.7	Cálculo de la relación beneficio- costo.....	277
7.8	Cálculo de la tasa interna de retorno.....	278
7.9	Cálculo del tiempo de la recuperación de la inversión.....	280
<b>8.</b>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>	
8.1	Introducción.....	281
8.1.1	Naturaleza y objetivos del proyecto.....	281
8.2	Justificación.....	282
8.3	Objetivos del estudio.....	282
8.4	Alcances del estudio preliminar de impacto ambiental .....	282
8.5	Justificación del proyecto.....	283
8.6	Proceso metodológico de desarrollo .....	284
8.6.1	Fases y metodología de realización del estudio de impacto ambiental.....	284
8.6.1.1	Primera fase.....	284
8.6.1.2	Segunda fase.....	285
8.7	Descripción del proyecto y sus acciones.....	285
8.7.1	Situación y accesos.....	286
8.7.2	Disposición general adoptada.....	287
8.7.3	Captación y conducción de agua.....	288
8.7.4	Sistema de presión.....	289
8.7.5	Casa de máquinas y patio de transformación.....	289
8.7.6	Desagüe.....	290
8.7.7	Potencia a instalar.....	290
8.8	Legislación aplicable.....	291
8.8.1	Ley de régimen del sector eléctrico.....	291
8.8.2	Constitución del Ecuador.....	291
8.8.3	Políticas ambientales del Ecuador .....	292
8.8.4	Otras leyes aplicables.....	292
8.8.5	Tratados internacionales.....	292
8.9	Área de estudio y descripción ambiental general .....	293
8.9.1	Delimitación del área de estudio.....	293
8.9.2	Descripción ambiental general del entorno del emplazamiento.....	293
8.10	Inventario ambiental preliminar.....	294
8.10.1	Hidrología superficial.....	294
8.10.2	Medio biológico.....	294
8.10.3	Fauna.....	302



8.11	Identificación y valoración de impactos ambientales.....	306
8.12	Plan de compensación mitigación y reparación para los efectos .....	309

## **9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

9.1	Conclusiones.....	314
9.2	Recomendaciones.....	315

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **LINKOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

### **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Número de habitantes por comunidad.....5
2	Materiales utilizados en tuberías forzadas.....36
3	Velocidades angulares síncronas del rotor de un generador.....49
4	Registro de los puntos de las estaciones.....58
5	Puntos que conforman la obra de conducción de la central.....62
6	Registro de los caudales mensuales del río Puela.....65
7	Frecuencias absolutas y duración de caudales.....67
8	Análisis energético.....70
9	Parámetros de la bocatoma.....100
10	Parámetros del desripeador.....108
11	Coefficiente n de rugosidad.....115
12	Valores de m para diferentes tipos de suelos.....117
13	Alternativas del trazado de conducción.....119
14	Longitudes de tramos de conducción.....119
15	Características hidráulicas de los túneles tipo baúl .....123
16	Información del tramo 1 de conducción.....125
17	Coefficiente n de rugosidad para diferentes materiales de recubrimiento.....135
18	Velocidades máximas del agua de conducción en función del material.....136
19	Información del tramo 2 de conducción.....137
20	Dimensiones principales del aliviadero.....144
21	Diámetro límite de grano para diferentes alturas de caída.....154
22	Altura mínima de agua sobre la tubería de presión.....168
23	Altura mínima de agua sobre la tubería de presión.....171
24	Características de funcionamiento de las alternativas de materiales.....173
25	Velocidades del agua en los diferentes diámetros de tubería de presión.....174
26	Tabla de pérdidas primarias en tuberías de presión.....176
27	Tabla de pérdidas secundarias en la rejilla.....177

28	Tabla de pérdidas secundarias en la entrada a la tubería.....	178
29	Coeficiente de pérdidas en codos circulares .....	179
30	Coeficiente de pérdidas para los tramos de presión.....	179
31	Pérdidas secundarias por cambio de pendiente.....	180
32	Coeficiente de pérdidas en diferentes tipos de válvulas.....	181
33	Pérdidas secundarias por presencia de una válvula de control.....	181
34	Pérdidas totales en el sistema de presión.....	182
35	Porcentaje de pérdidas totales en el sistema de presión.....	183
36	Tabla de espesores mínimos de seguridad.....	184
37	Esfuerzos tangenciales por golpe de ariete.....	186
38	Esfuerzos longitudinales por variación de temperatura.....	187
39	Esfuerzos longitudinales por presión hidrostática.....	188
40	Esfuerzos longitudinales por presión hidrostática.....	190
41	Esfuerzos longitudinales por flexión entre apoyos.....	191
42	Esfuerzos longitudinales por variación de la pendiente.....	192
43	Esfuerzos equivalentes en el sistema de presión.....	193
44	Coeficientes de seguridad para la tubería de presión.....	194
45	Dimensiones principales de la almenara.....	203
46	Dimensiones principales de los apoyos según el tramo.....	206
47	Coeficiente de rozamiento entre diversos materiales.....	209
48	Resumen de fuerzas actuantes sobre los apoyos según el tramo.....	211
49	Análisis de la condición de estabilidad de los apoyos.....	212
50	Análisis de la segunda condición de estabilidad de los apoyos.....	214
51	Análisis de la segunda condición de estabilidad de los apoyos .....	216
52	Análisis de la tercera y cuarta condición de estabilidad de los apoyos .....	216
53	Ángulos aguas arriba y abajo para el dimensionamiento de anclajes.....	218
54	Principales dimensiones de los anclajes.....	222
55	Resumen de fuerzas actuantes en los anclajes.....	231
56	Resumen de fuerzas resultantes en los anclajes.....	233

57	Verificación de la condición 1 en cada anclaje.....	234
58	Verificación de las condiciones 2 y 3 en cada Anclaje.....	235
59	Verificación de las condiciones 4 y 5 en cada Anclaje.....	237
60	Eficiencias de los tipos de transmisión para una central hidroeléctrica.....	241
61	Rango de aplicaciones de las diferentes turbinas.....	243
62	Velocidades específicas.....	243
63	Tipo de turbina más adecuado en función del número de revoluciones .....	244
64	Proporciones de la tobera en función del diámetro del chorro.....	254
65	Dimensiones de las cucharas pelton en función del diámetro de chorro.....	255
66	Dimensiones de la tobera.....	259
67	Dimensiones de las cucharas.....	260
68	Costos de materiales.....	265
69	Costo de mano de obra.....	266
70	Costo de mano de equipos y maquinaria.....	267
71	Costo de transporte.....	268
72	Costos de ingeniería básica y detalle.....	269
73	Costos de operación mensual.....	270
74	Costos de mantenimiento anual.....	270
75	Costos de herramientas.....	271
76	Flujo de caja interno.....	274
77	Cálculo del valor actual neto.....	276
78	Cálculo del VAN a diferentes tasas de interés.....	278
79	Especies de flora presentes en las zonas de ríos y quebradas.....	295
80	Especies de flora presentes en las zonas de producción.....	299
81	Especies de flora presentes en las zonas de bosque.....	301
82	Especies de fauna presentes en las zonas de ríos y quebradas.....	302
83	Especies de fauna presentes en las zonas productivas.....	304
84	Especies de fauna presentes en las zonas de bosque.....	305
85	Reconocimiento de impactos ambientales en la fase de construcción.....	306
86	Reconocimiento de impactos ambientales en la fase de operación.....	308

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Relieve de la zona de influencia.....	5
2	Cause del Río Puela .....	6
3	Usos del suelo .....	7
4	Cuadro porcentual de actividades de ingreso económico.....	9
5	Partes de la bocatoma convencional.....	12
6	Esquema de un canal de conducción.....	14
7	Tipos de canales de conducción.....	16
8	Dimensiones de un canal de conducción.....	16
9	Vista en sección de un canal de conducción.....	17
10	Esquema del túnel tipo baúl.....	18
11	Esquema del aliviadero o vertedero.....	19
12	Esquema de un desarenador al inicio del sistema de conducción.....	21
13	Esquema de una cámara de presión con desarenador incluido.....	22
14	Vista lateral del desarenador.....	24
15	Vista de planta del desarenador.....	24
16	Muestra la trayectoria seguida por las partículas de arena .....	25
17	Desagüe de limpieza y aliviadero.....	26
18	Tanque de presión o cámara de carga.....	27
19	Diferentes secciones de una cámara de carga.....	29
20	Flujo asimétrico y simétrico en la entrada de la tubería.....	31
21	Principales componentes de una tubería de presión.....	31
22	Esquema del sistema de apoyos en la tubería de conducción.....	33
23	Tipos de soldaduras en los distintos apoyos.....	33
24	Sistema de anclajes y apoyos en la tubería de presión.....	38
25	Esquema de una casa de máquinas.....	39
26	Esquema de una central con turbina Pelton.....	42
27	Partes de la turbina Pelton.....	43

28	Esquema de una turbina Michell- Banki.....	44
29	Esquema grafico de una turbina Francis.....	45
30	Esquema de la Turbina Kaplan.....	46
31	Esquema de un alternador o generador.....	47
32	Disposición de elementos en un alternador simple de excitación.....	48
33	Grupo de generación: Turbina, generador y excitatriz.....	50
34	Esquema de una red eléctrica.....	52
35	Red de distribución de la energía eléctrica.....	54
36	Levantamiento topográfico de la zona de captación.....	60
37	Levantamiento topográfico de la zona de túnel de conducción.....	60
38	Levantamiento topográfico de la zona del cambio de conducción.....	61
39	Levantamiento topográfico de la zona del tanque de presión.....	61
40	Vista completa del levantamiento topográfico de la descarga.....	62
41	Curva de duración de caudales.....	69
42	Histograma de frecuencias relativas.....	70
43	Curva de duración de potencias .....	71
44	Producción anual de energía.....	72
45	Ejemplo gráfico de un azud.....	78
46	Perfil del azud.....	88
47	Dimensiones del azud .....	90
48	Fuerzas actuantes sobre el azud .....	92
49	Esquema principal de una bocatoma convencional.....	99
50	Principales parámetros de una bocatoma convencional .....	100
51	Vista principal de la bocatoma tipo convencional.....	104
52	Vista principal del desripeador .....	107
53	Toma de agua, desripeador y rebosadero de una bocatoma convencional.....	108
54	Vista superior del desripeador.....	112
55	Esquema del caudal y dimensiones en la compuerta de lavado.....	113
56	Esquema general del proyecto.....	118

57	Esquema de un túnel de sección tipo baúl.....	120
58	Ejemplo gráfico de un canal abierto de conducción.....	131
59	Esquema de un canal abierto.....	132
60	Esquema de un aliviadero en un canal abierto.....	142
61	Esquemas de obras complementarias en el canal.....	145
62	Ejemplo de una tubería de conducción de agua.....	147
63	Esquemas de conducción del tramo 1.....	148
64	Esquemas de conducción del tramo 1.....	152
65	Esquema del desarenador.....	153
66	Esquemas de alternativa 1.....	161
67	Esquemas de alternativa 2.....	162
68	Dimensiones principales del tanque de presión con desarenador 3.....	163
69	Tuberías de acero al carbono.....	171
70	Tuberías de PRFV.....	172
71	Coeficiente de pérdidas en la rejilla.....	177
72	Coeficiente de entrada de tubería.....	178
73	Sistema de esfuerzos actuantes sobre la tubería de presión.....	184
74	Dimensiones y esquema de una chimenea de equilibrio.....	198
75	Dimensiones y esquema de una chimenea de equilibrio.....	204
76	Dimensiones principales de un apoyo.....	204
77	Constitución de un apoyo.....	217
78	Constitución de un apoyo.....	218
79	Dimensiones principales de un anclaje.....	219
80	Esquema de la fuerza $F_1$ .....	223
81	Esquema de la fuerza $F_2$ .....	224
82	Esquema de la fuerza $F_3$ .....	225
83	Esquema de la fuerza $F_4$ .....	225
84	Esquema de la fuerza $F_5$ .....	226
85	Esquema de la fuerza $F_6$ .....	227

86	Esquema de la fuerza $F_7$ .....	228
87	Esquema de la fuerza $F_8$ .....	228
88	Esquema de la fuerzas actuantes sobre el anclaje.....	229
89	Esquema de la fuerza actuante sobre el a $F_{1m}$ .....	230
90	Esquema de la fuerzas Resultantes sobre el anclaje.....	230
91	Esquema del conjunto electromecánico de la central.....	238
92	Esquema del grupo de generación.....	239
93	Eficiencias de las turbinas para distintos porcentajes de carga .....	240
94	Esquema de la instalación en casa de máquinas de la primera altern.....	244
95	Ábaco de selección de turbinas .....	246
96	Esquema general de instalación la primera alternativa.....	247
97	Esquema de instalación en casa de máquinas de la segunda alternativa.....	249
98	Esquema del inyector de la turbina Pelton.....	253
99	Esquema de la tobera de la turbina Pelton.....	255
100	Esquema de las cucharas de la turbina Pelton.....	256
101	Corte transversal de un rodete de una turbina tipo Pelton.....	257
102	Esquema de generación empresa Hydroenergía.....	263
103	Cálculo del TIR.....	279
104	Constitución y esquema grafico de una central Hidroeléctrica.....	281
105	Vía de acceso a la zona de casa de máquinas.....	286
106	Zona de desarrollo del proyecto.....	287
107	Esquema de una turbina Pelton de 5 inyectores con un generador .....	289
108	Esquema de general de la casa de máquinas.....	290



## SIMBOLOGÍA

$x=$	Altura sobre el nivel de mar.	m
$T=$	Temperatura.	$^{\circ}\text{C}$
$\varphi_{\text{agua}}=$	Densidad del agua.	$\text{Kg/m}^3$
$\gamma_{\text{agua}}=$	Peso específico del agua.	$\text{N/m}^3$
$P_a=$	Presión atmosférica.	Pascales
$Q_{\text{avenida}}=$	Caudal máximo o avenida.	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_{\text{estiaje}}=$	Caudal mínimo estiaje.	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_{\text{com}}=$	Caudal que pasa por las compuertas de mantenimiento	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_s=$	Caudal de seguridad	$\text{m}^3/\text{s}$
$H=$	Altura del Azud.	m
$\mu=$	Factor de forma de conocimiento para vertedero	
$h_1=$	Altura de agua al final del azud	m
$V^*=$	Velocidad del Agua sobre la cresta del azud.	m/s
$\Delta h=$	Altura de caída del agua	m
$\Delta h_d=$	Altura del dentellón.	m
$h_e=$	Energía cinética sobre el azud	m
$H_e=$	Altura total del agua sobre el lecho del río	m
$h_n' =$	Altura de agua en el canal	m
$H' =$	Altura de agua en el rebosadero	m
$Y_3=$	Altura del umbral sobre el fondo del Canal	m
$Z_q =$	Desnivel entre las superficies del Agua	m
$Y_2=$	Altura del desripeador	m
$D_m=$	Diámetro de la partícula en el lecho del río.	m
$\mu_{\text{roca}}=$	Factor de fricción de la roca.	Adimensional.
$\Delta=$	Relación del peso específico del hormigón con el agua	Adimensional.
$X_m=$	Distancia en el eje de las abscisas en el azud.	m
$Y_m=$	Distancia en el eje de las ordenadas en el azud	m

$\gamma_{\text{concreto}}=$	Peso específico del concreto	$\text{N/m}^3$
$\varphi_{\text{concreto}}=$	Densidad del concreto	$\text{Kg/m}^3$
$V=$	Velocidad de acercamiento del río	$\text{m/s}$
$M=$	Coeficiente según KONOVALOV.	Adimensional
$S=$	Coeficiente según BAZIN.	Adimensional
$B=$	Ancho total de la rejilla	$\text{m}$
$b'=$	Ancho real de la rejilla.	$\text{m}$
$Y_c=$	Profundidad crítica del canal.	$\text{m}$
$V_c=$	Velocidad crítica del canal.	$\text{m/s}$
$V_r=$	Velocidad media del río.	$\text{m/s}$
$L_d=$	Longitud del desripador.	$\text{m}$
$L_{tr}=$	Longitud de transición.	$\text{m}$
$d=$	Calado del canal.	$\text{m}$
$V_{\text{real}}=$	Velocidad real en el canal	$\text{m/s}$
$A_{\text{moj}}=$	Area mojada.	$\text{m}^2$
$S=$	Altura de seguridad del canal	$\text{m}$
$P_m=$	Perímetro mojado.	$\text{m}$
$R=$	Radio hidráulico.	$\text{m}$
$j=$	Gradiente del canal	$\%$
$Z=$	Pendiente del canal.	$\%$
$r=$	Radio de la bóveda	$\text{m}$
$\beta=$	Angulo con la horizontal	$^\circ$
$h=$	Calado de agua en el túnel	$\text{m}$
$t=$	Espesor del revestimiento	$\text{m}$
$H_{\text{total}}=$	Altura total del túnel	$\text{m}$
$A_t=$	Ancho total del túnel	$\text{m}$
$A_{\text{exc}}=$	Área de excavación	$\text{m}^2$
$A_{\text{int}}=$	Área interior del túnel	$\text{m}^2$
$\lambda=$	Coeficiente de fricción en la tubería.	Adimensional

$H_{rs}=$	Pérdidas secundarias en la tubería.	m
$Re=$	Número de Reynolds.	Adimensional
$P_T=$	Presión de trabajo.	Kgf/m <sup>2</sup>
$E=$	Energía específica en el vertedero.	m
$d_d=$	Profundidad de decantación.	m
$U=$	Turbidez.	Kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{arena}=$	Densidad de la arena.	Kg/m <sup>3</sup>
$T=$	Periodo de tiempo en vaciado de tanque.	s
$L=$	Longitud del tanque desarenador.	m
$\phi_{pr}=$	Diámetro de la tubería de presión.	m
$A_o=$	Sección transversal del canal de conducción	m <sup>2</sup>
$h_{tb}=$	Altura mínima del agua sobre la tubería de presión	m
$HB=$	Altura bruta.	m
$D_c=$	Diámetro de la almenara.	m
$L_{tq}=$	Longitud del tanque de presión.	m
$H_{cmin}=$	Altura mínima de la almenara.	m
$L_s=$	Longitud entre apoyos.	m
$e'=$	Espesor de la tubería de presión.	mm
$\delta_{ta}=$	Tensión tangencial en la tubería de presión.	Kgf/cm <sup>2</sup>
$P_s=$	Presión actuante por golpe de ariete.	Kgf/cm <sup>2</sup>
$\delta_{te}=$	Tensión por variación de temperatura.	Kgf/cm <sup>2</sup>
$\delta_{tl}=$	Tensión por variación hidrostática.	Kgf/cm <sup>2</sup>
$\gamma_t=$	Peso específico de la tubería.	Kgf/m <sup>3</sup>
$\theta_1=$	Ángulo de la tubería aguas arriba.	Grados
$\theta_2=$	Ángulo de la tubería aguas abajo.	Grados
$V=$	Volumen de las partes de la obra civil.	m <sup>3</sup>

## **LISTADO DE ANEXOS**

<b>A</b>	Carta geográfica de la zona (IGME).
<b>B</b>	Mapa vial de la zona de influencia
<b>C</b>	zona geográfica de la zona de influencia
<b>D</b>	Estudio plan métrico de la zona de Influencia.
<b>E</b>	Factores de forma de coronamiento para distintas formas de vertederos
<b>F</b>	Coordenadas generales del perfil de Creager.
<b>G</b>	Coordenadas del perfil de Creager del azud.
<b>H</b>	Tabla de relación A/He para las compuertas.
<b>I</b>	Lugar de captación según estudio planimétrico.
<b>J</b>	Geografía de la zona para construcción de un túnel de conducción.
<b>K</b>	Geografía de la zona para constr. de un canal de conducción en el tramo 1.
<b>L</b>	Geografía de la zona para construcción de un canal de conducción en el tramo 3.
<b>M</b>	Geografía de la zona del sistema de presión.
<b>N</b>	Diagrama de Moddy.
<b>O</b>	Propiedades del agua
<b>P</b>	Coeficiente de pérdidas secundarias por entrada de tubería.
<b>Q</b>	Tabla de velocidades de sedimentos según el diámetro de la partícula.
<b>R</b>	Tabla de densidades de los materiales (arena).
<b>S</b>	Tabla de presión atmosférica.
<b>T</b>	Estudio vertical del proyecto.
<b>U</b>	Módulo de elasticidad del material
<b>V</b>	Módulo de elasticidad del material
<b>W</b>	Cotización de la turbina hidráulica
<b>X</b>	Cotización válvulas de mariposa
<b>Y</b>	Contraloría general de estado
<b>Z</b>	Tasa de interés del banco central del Ecuador
<b>Z'</b>	Factores de interés para evaluación económica

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

### **CAPTACIÓN.**

Las obras de captación son estructuras de hormigón diseñadas para desviar, atraer y regular el flujo sin almacenamiento aprovechando el caudal que hay en el momento dado para la producción de hidro-energía sea esta mecánica o eléctrica.

### **ESTIAJE.**

Es el nivel más bajo del agua en ciertas épocas del año que tienen los ríos, las lagunas, etc. por causa de la sequía.

### **AVENIDA.**

Se denomina crecida o caudal extraordinario al caudal excesivamente alto en un río. Los fenómenos de las avenidas, al igual que las precipitaciones, son aleatorios con ciclos básicamente anuales. Otra definición de avenida o crecida, según la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundación, es la siguiente: “un aumento inusual del caudal de agua de un cauce que puede o no, producir desbordamientos o inundaciones”.

### **AZUD.**

Cierra el cauce del río obligando al agua que se encuentra por debajo de la cota de su cresta a pasar por la conducción.

### **ZAMPEADO.**

En el tiempo de crecidas, las aguas de exceso pasan por encima del dique o azud, esta obra puede estar acompañada de un zampeado, el cual disminuye el exceso de la velocidad del agua, a fin de disminuir la erosión en el lugar de la bocatoma.

### **DENTELLÓN.**

Un dentellón que se construye aguas arriba y debajo del zampeado, en algunas ocasiones con drenes, para disminuir la sub-presión del agua que se filtra por debajo del azud y para darle un mejor anclaje a la estructura.

**DESRIPIADOR.**

Es una cámara que recoge el material sólido que ha logrado pasar a través de la rejilla. Para lavar el material sólido depositado en el desripiador se dispone de una compuerta hacia el río, la cual lo elimina.

**ZONA DE TRANSICIÓN.**

Una transición de entrada al canal continuo al desripiador une a este último con el canal para evitar pérdidas grandes de energía entre éstos.

**TOMA CONVENCIONAL.**

La toma convencional o lateral se caracteriza por tener una pequeña presa que no tiene la capacidad de almacenar agua, de ahí que no posea regulación.

**ESPIGÓN.**

Macizo saliente que se construye a la orilla de un río o mar para proteger la orilla o desviar la corriente.

**CIMACIO.**

Moldura cuyo perfil dibuja una S con los extremos tendiendo hacia la horizontal, en general con la parte superior cóncava y la inferior convexa.

**TURBIDEZ.**

La turbidez se expresa como el peso del sedimento transportado por metro cúbico de agua.

**TANQUE DE CARGA O DE PRESIÓN.**

La cámara de presión es un tanque con capacidad suficiente para garantizar la partida o parada brusca de las turbinas

**GOLPE DE ARIETE.**

Onda de presión que se produce por un cierre brusco de una compuerta y parada de la corriente agua, mediante una vibración ruidosa.

**ALMENARA.**

Sirve para atenuar los efectos del golpe de ariete en las centrales hidráulicas.

**TUBERIA DE PRESIÓN.**

La tubería de presión debe ser preferiblemente recta, aunque en algunas ocasiones es difícil de obtener, debido a las condiciones del terreno. Este hecho obliga a ajustarse al perfil topográfico de su trazado, con el apoyo de estructuras de concreto que le ayudan a sostenerse << apoyos >> y a variar la pendiente << anclajes >>.

**APOYOS.**

Los apoyos en la tubería de presión son bloques de concreto que permiten el desplazamiento axial de la tubería y en el caso de pequeñas fuerzas verticales las absorbe

.

**ANCLAJES.**

Son bloques de hormigón que impiden el movimiento de la tubería.

## RESUMEN

El presente proyecto, tiene como finalidad la realización de un estudio de factibilidad técnica económica de la central hidroeléctrica “EL ALTAR”, de la parroquia de El Altar, perteneciente al cantón Penipe de la provincia de Chimborazo, para lo cual aprovechando el caudal de agua que posee el cauce del río Puela y realizando el análisis respectivo, se determinó que se podrá utilizar  $9,75 \text{ m}^3/\text{s}$  y aprovechando una caída de agua de 164 metros, para la generación de 10MWatts de potencia eléctrica.

El Sistema de Generación consiste en la unión de elementos civiles y mecánicos, mismos que se emplearan en el diseño de un Sistema de Captación de agua mediante una Bocatoma Lateral. Por la geografía de la zona se hizo imprescindible el diseño de tres tramos de conducción, mismos que estarán dispuestos de forma: canal abierto, túnel tipo baúl, canal abierto, para así conducir el agua hacia un tanque de carga que alimentara a 2 tramos en paralelo de la Tubería de Presión, los cuales suministrarán energía hidráulica a las 4 unidades generadoras.

Se ha propuesto por unidad de generación una turbina Pelton de eje vertical de 4 inyectores, misma que se acoplara a un generador de sincrónico de 12 polos, mismos que girarán a una velocidad de 600 rpm.

El proyecto tendría un costo aproximado de 20 835 783,54 USD, inversión que podría ser recuperada en 6 años, demostrado que es técnica – económicamente factible el proyecto.

Además el proyecto cuenta con un estudio preliminar de impacto ambiental, con la finalidad de conocer las posibles danos medio ambientales que se podría generar en caso de implementarse el proyecto en mención y establecer las correspondientes acciones de mitigación.



## **ABSTRACT**

This project, has a purpose to make the feasibility economic –technical study from the power station “EL ALTAR” to the parish of the El Altar, Penipe Canton of Chimborazo Province, to take advantage from the water flow that has the course in Puela river and make the respective analysis, it was determined that will be possible to use 9,75 m<sup>3</sup>/s and taking advantage a waterfall 164 meters, to create the electric potency 10MWatts.

The system generation consists in the union of civil and mechanical elements; they will be used in the Training System design of water through a lateral intake. By the geography zone it was made an indispensable design of three stretches water, they will be dispose as: open flow, tunnel type trunk, to conduct the water toward cargo tank that connect two stretches in parallel of plumbing, in which they will provide hydraulic energy to the four generate units.

For each generation unit it was purposed a Pelton turbine of vertical axis with four injectors, the same that is connecting to a synchronous generator of 12 poles, they will rotate at a speed of 600 rpm.

This project will approximate cost 20 835 78354 USD, the investment could be recovered in 6 years, showing that this project economically feasible technique.

It was made a preliminary study of environmental impact, in order to know the possible environmental damage that could be generated if the project in question is implemented.

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes**

El constante crecimiento del índice de contaminación en el medio ambiente, debido a la emanación de gases productos de la combustión de combustibles fósiles y el irracional uso de derivados del petróleo en la producción de energía han llevado a la necesidad de mejorar la eficiencia de los sistemas de generación ya existentes y comenzar un proceso de eliminación de los sistemas contaminantes.

Una gran solución al reemplazo de las energías contaminantes, es el uso del agua como fuente principal en la construcción de centrales hidroeléctricas, las mismas que aprovechan la energía potencial acumulada en un embalse de contención, para así poder transformarla en la cantidad de energía cinética necesaria para poder mover el rotor de un generador, el cual a su vez nos brindara la energía eléctrica buscada.

La principal ventaja en las construcciones hidroeléctricas, es que en ellas se utiliza energía renovable y limpia, y no existe la necesidad del uso de otros elementos o aditivos que puedan contaminar el aire o el agua.

Se ha demostrado que el Ecuador y en especial la provincia de Chimborazo, cuentan en su jurisdicción con un potencial hídrico, el mismo que puede ser aprovechado con los estudios y posterior construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas, que a más de beneficiar al medio ambiente, ayudara a mejorar el nivel social de las zonas de influencia.

#### **1.2 Justificaciones**

En el marco de encontrar las justificaciones necesarias que sustenten nuestro proyecto, es de importancia abarcar diferentes aspectos como:

**1.2.1 Justificación técnica.** El rico recurso hídrico presente en el Ecuador, no es aprovechado adecuadamente y la demanda de energía eléctrica en el país en los últimos años, ha tenido un incremento significativo, causando que algunos sectores aun no cuenten con este servicio básico y que los sectores que lo poseen tengan que soportar racionamientos de energía eléctrica en épocas de estiaje.

La implementación de este proyecto, va encaminado en poder aportar con una fuente más de generación de energía eléctrica a base del aprovechamiento del potencial hidrológico y condiciones geográficas que posee la parroquia El Altar.

La potencia aproximada que se genera aprovechando la caída de agua sera de 10 MW, lo cual se anexara al sistema interconectado de la provincia.

**1.2.2 Justificación económica.** Para el estudio y desarrollo del proyecto Central Hidroeléctrica “El Altar”, existe una buena factibilidad económica, ya que el Gobierno Nacional ha emprendido una campaña en la cual busca nuevas fuentes de generación energética, así planteando la construcción de nuevos proyectos hidroeléctricos en todo el país.

La inversión es grande, pero si se realizaría un análisis costo-beneficio, se podrá notar que la inversión será recuperada, ya que se tendrá una forma de generación mucho más barata y de menores costos de mantenimiento que otras fuentes de generación.

**1.2.3 Justificación social.** El desarrollo del proyecto traerá beneficios hacia las comunidades aledañas, ya que se dará la iniciativa para despertar el turismo en la zona, generando empleo y elevando la calidad de vida de los habitantes de la zona que se ha ido mermando por el proceso eruptivo del volcán Tungurahua, a más que se podría en un futuro ampliar el proyecto a desarrollar para dotar de riego a zonas que no lo tengan y así aprovechar el potencial agrario presente.

**1.2.4 Justificación ecológica.** Ya que la sociedad actual demanda una ingeniería verde, que se fundamente en los principios de conservación y mantenimiento del medio ambiente, se ha creído conveniente el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de generación energética que ayuden a reducir los estándares de contaminación.

La generación de energía a base de sistemas hidráulicos, tiene como ventaja el producir energía limpia, sin contaminantes, ni la producción de desechos y desperdicios tóxicos que podrían afectar principalmente a la salud de los seres vivos o afectar al equilibrio de la flora y fauna de la zona.

### **1.3 Objetivos.**

**1.3.1 Objetivo general.** Realizar el estudio de Factibilidad Técnica-Económica de la Central Hidroeléctrica “EL ALTAR”.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Realizar el estudio bibliográfico sobre hidráulica y generación energética.

Realizar el estudio técnico y diseño del sistema de captación, conducción, y presión necesarios en el pre-diseño de una central hidroeléctrica.

Calcular los parámetros técnicos necesarios para la selección del grupo turbina-generator a emplearse en el sistema.

Seleccionar los equipos generadores óptimos para funcionamiento adecuado del proyecto.

Efectuar el análisis económico de factibilidad.

Realizar un estudio preliminar de impacto ambiental.

## **CAPÍTULO II**

### **2. INFORMACIÓN BÁSICA DE LA ZONA DE INFLUENCIA.**

#### **2.1 Localización geográfica y política de la zona del proyecto**

La parroquia El Altar se encuentra ubicada al Norte de la cabecera cantonal del Cantón Penipe, con una superficie aproximada de 74,19 Km<sup>2</sup>; cuenta con seis comunidades de habitantes las cuales son: Palictahua, Pachanillay, Ganshi, Asacucho, Ayanquil, Utuñag.

Se encuentra en la posición geográfica S 1° 31' W 78° 27'17.4'', en una altura aproximada de 2400 m.s.n.m; una temperatura media de 14 °C y una humedad atmosférica del 45%.

La cabecera parroquial se encuentra comunicada con sus parroquias circundantes por medio de carreteras de primer orden, mientras que en su interior cuenta con una red de caminos vecinales de segunda orden, como muestra el Anexo C.

Los límites políticos se encuentran definidos de la siguiente manera:

Al Norte con la parroquia Puela y el Río Puela.

Al sur con Río Asacucho, Río Cubillín y los Cerros de Flautas con Morona Santiago.

Al este con el Río Puela.

Al oeste con el Río Chambo, Comunidad El Guzo y Río Asacucho.

#### **2.2 Número de habitantes en la parroquia**

La parroquia El Altar cuenta con un aproximado de 1822 habitantes según referencia [1], los cuales se encuentran distribuidos en sus comunidades de la siguiente manera:

**Tabla 1.** Número de habitantes por comunidad

COMUNIDAD	POBLACIÓN	SUPERFICIE(Ha.)
Palictahua	246	237,34 Ha.
Pachanillay	260	834,98
Ganshi	247	226,06
Asacucho	127	124,31
Ayanquil	113	21,99
Utuñag	359	5787,31
Centro Parroquial	470	187,55
<b>Total</b>	<b>1822</b>	<b>7419,54</b>

**Fuente:** Plan de desarrollo y ordenamiento territorial

### 2.3 Topografía de la zona

La Zona de influencia del proyecto, tiene tres zonas claramente definidas, una zona alta la cual es atravesada por la cordillera de los Andes, una zona media la cual posee superficies irregulares y onduladas y una zona baja con superficies planas y onduladas.

**Figura 1.** Relieve de la Zona de Influencia.

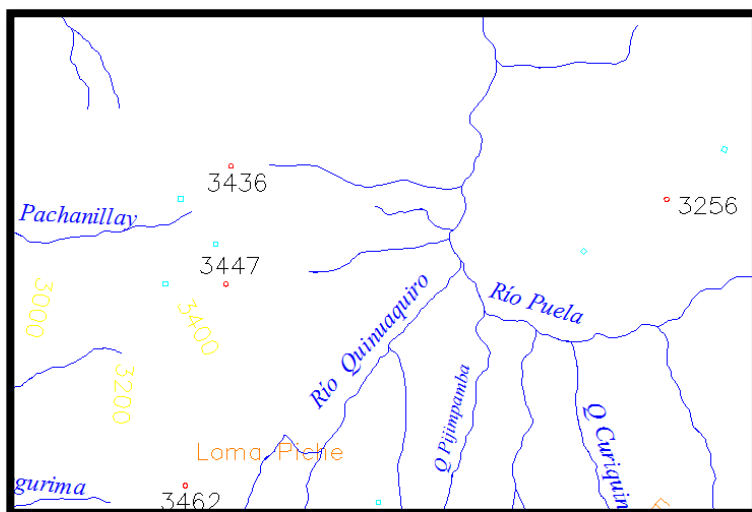


**Fuente:** Autores

## 2.4 Recursos hídricos

La parroquia cuenta en su jurisdicción de un importante recurso hídrico, ya que sobre ella se encuentran los cauces de los ríos: Puela, Quinuaquiro, Naranjal, Cubillin, Cubillin Chico, Asacucho, Palictahua, Badcahuan y Siglal.

**Figura 2.** Cauce del Río Puela.



**Fuente:** Plan de desarrollo y ordenamiento territorial

## 2.5 Uso del suelo

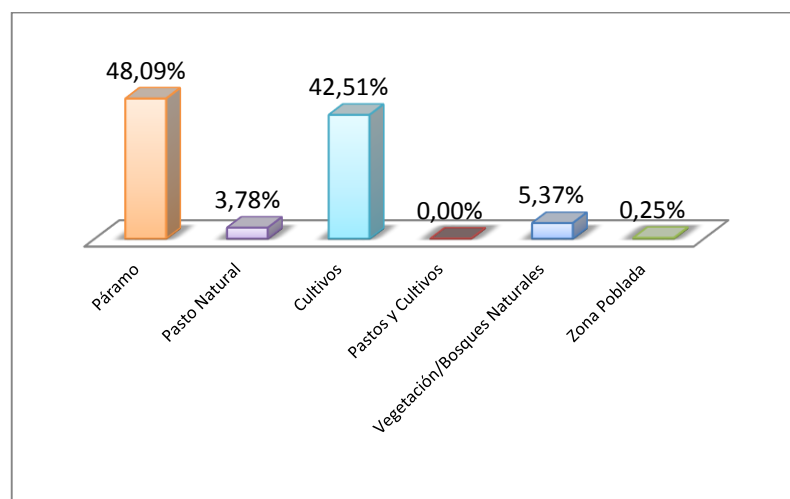
La proximidad al Oriente Ecuatoriano, ha hecho que las características del suelo sean muy diversas, pudiendo ser cultivado una diversidad de productos vegetales y frutales, como la manzana, aguacates, reina claudia, duraznos, entre otros.

El 48% de suelos pertenece a áreas de paramo, en donde se puede encontrar una variedad de vegetación que favorece la alimentación del ganado vacuno presente en la zona, el mismo que es usado en las industrias lácteas presentes.

Un 42% de extensión de terreno es usado en diversas actividades agrícolas productivas por sus habitantes, como el cultivo de papas, maíz, habas, frejol, manzanas y demás productos propios de la zona.

El resto de extensiones de terreno está constituido por la zona poblada, pastos naturales y bosques que hacen de la parroquia una zona rica en diversidad. A continuación se presenta un cuadro porcentual del uso del suelo en la parroquia.

**Figura 3.** Usos del suelo.



**Fuente:** Plan de desarrollo y ordenamiento territorial

## 2.6 Servicios básicos

**2.6.1 Agua potable.** La parroquia y sus habitantes no cuentan con un sistema de tratamiento de agua potable, por lo que el líquido vital es llevado desde las vertientes hacia un tanque de almacenamiento para luego ser distribuida a los domicilios de sus habitantes a través de un sistema de agua entubada.

**2.6.2 Energía eléctrica.** La zona de influencia cuenta actualmente con la distribución de energía eléctrica a través del Sistema Nacional Interconectado, llegando a la mayoría de las comunidades y habitantes de la parroquia.



**2.6.3 Telefonía fija, móvil e internet.** En términos de tecnología, la parroquia en estos últimos años ha tenido un avance de un 80%, pero el mismo no ha logrado satisfacer las necesidades de todas las familias residentes en las diversas comunidades de la parroquia.

La cobertura de telefonía móvil en la parroquia es muy limitada, llegando a pocas comunidades, esto debido a las irregularidades de la superficie, lo que dificulta que la señal llegue de una manera adecuada.

El acceso al internet es muy limitado para los habitantes de la parroquia, ya que al no existir una cobertura adecuada en telefonía fija y móvil, muy poco se puede avanzar en este aspecto.

**2.6.4 Educación.** La parroquia El Altar, cuenta con un centro de educación primaria, que lleva por nombre ESCUELA FISCAL MIXTA “12 DE OCTUBRE”, la misma que se encuentra ubicada en la cabecera parroquial.

No existe un colegio de educación regular, por lo que los habitantes optan con continuar sus estudios secundarios en la modalidad a distancia, en la UNIDAD EDUCATIVA EXPERIMENTAL “EL MILENIO”, la misma que se encuentra ubicada en la comunidad Pachanillay.

**2.6.5 Salud.** Los habitantes de la cabecera parroquial así como de las comunidades, cuentan con un Sub-centro de Salud, perteneciente al Ministerios de Salud Pública, el mismo que se encuentra ubicado en el centro parroquial junto a las oficinas administrativas del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia “El Altar”.

El departamento de salud dispone de los servicios de Enfermería, Medicina General y Odontología.

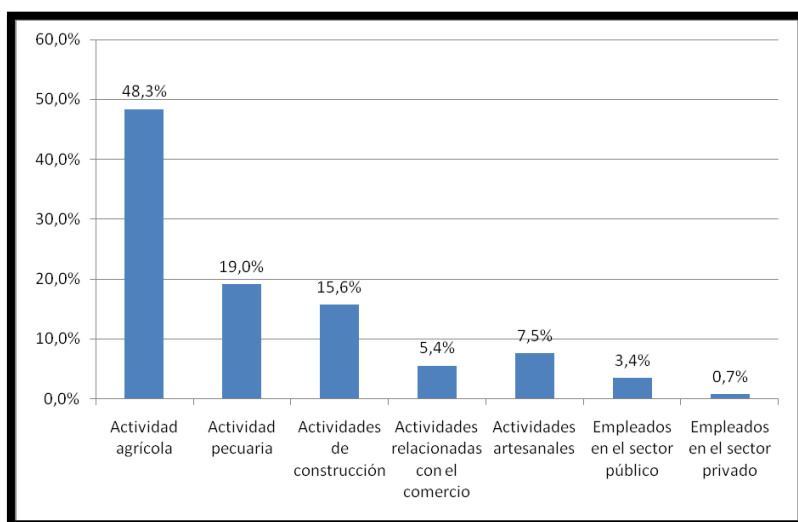
**2.6.6 Alcantarillado.** La parroquia El Altar y sus comunidades circundantes en su mayoría, no cuentan con un sistema de alcantarillado adecuado, lo que ha llevado a que la eliminación de los desechos orgánicos se lo realice mediante la construcción de letrinas.

Esto a futuro, podría causar un foco de infecciones y epidemias, que si no se lo maneja de una manera adecuada podría afectar a la salud de los habitantes de una manera considerable.

## 2.7 Aspectos socio-económicos

**2.7.1 Fuentes de ingreso.** Los habitantes de la cabecera cantonal, así como de sus comunidades, realizan diversas actividades de ingreso económico, entre las cuales podemos citar: Actividades Agrícolas, Pecuarias, Construcción, Artesanales, entre otras.

**Figura 4.** Cuadro porcentual de actividades de ingreso económico.



**Fuente:** Plan de desarrollo y ordenamiento territorial

**2.7.2 Microempresas.** En la comunidad de Utuñag existen microempresas según la referencia [1], las mismas que se dedican a la producción de derivados lácteos.

La primera lleva por nombre quesería “SERREÑITO”, la misma que procesa alrededor de 1500 litros de leche recolectados en la parroquia y fuera de ella, para así lograr una producción diaria estimada de 380 quesos de 750 gramos c/u.

La segunda microempresa no posee nombre, y en la misma se procesa 300 litros de leche, los cuales son convertidos en 60 quesos de 750 gramos c/u.

También existen microempresas establecidas en la comunidad Pachanillay según la referencia [1], dedicadas a la producción de artesanías propias de la zona como ponchos, suéteres y artículos bordados, mismos que son comercializados en mercados nacionales.

**2.7.3 Centros turísticos.** La parroquia El Altar, cuenta con el centro turístico “EL OJO DEL FANTASMA”, ubicado a 15 minutos de la cabecera parroquial y construida a las riveras del río Puela, el mismo que al momento se encuentra en estado de total abandono, desde la última gran erupción

En la comunidad Ayanquil, se encuentra establecida la Asociación “CURIQUINGUE”, la misma que brinda el servicio de alojamiento, guía por las montañas y cerros, y esparcimiento a sus visitantes.

También podemos encontrar el Paradero Agro Turístico “Utuñag”, el mismo que al momento se encuentra en etapa de reorganización y restauración.

## **CAPÍTULO III**

### **3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto a ser desarrollado estará ubicado sobre el Río Puela, el mismo que se encuentra dentro de la jurisdicción de la parroquia “EL ALTAR”.

Se utilizara una bocatoma, la cual es diseñada para absorber un caudal aproximado de  $9,75\text{m}^3/\text{s}$ , dicha cantidad de agua es guiada mediante un sistema de conducción hacia una cámara de carga previa sedimentación. La cámara y el desarenador se encuentran sobre la cota de 2462 m.s.n.m. proporcionando una caída bruta de 164 m de columna de agua, la cual podrá generar una potencia aproximada en bornes de generador de 10 MW.

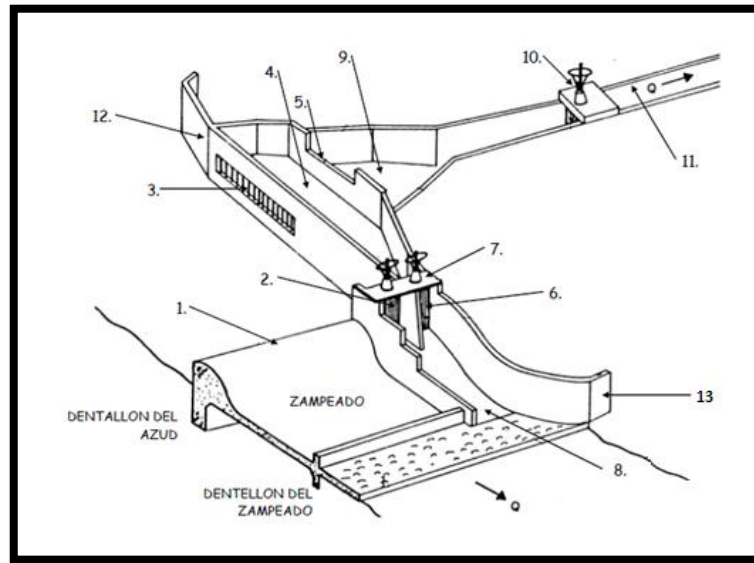
#### **3.1 Captación [3]**

La captación se realizará mediante una bocatoma de tipo convencional con el objeto aprovechar el máximo caudal posible para el uso requerido.

Las bocatomas suelen caracterizarse por el caudal de Captación, el que se define como el gasto máximo que una obra de toma puede admitir. Es necesario tener presente que la bocatoma es una estructura importante para el éxito de un proyecto. Si por una razón u otra se produce una falla importante en la obra de captación, esto significaría la posibilidad del fracaso de total de aprovechamiento hidráulico.

Cuando por características topográficas de la corriente (cauce demasiado ancho o estrecho) o por características hidráulicas (tirante bajo para el caudal de mayor permanencia) hace falta levantar el calado o profundidad del agua para encauzarla hacia el canal principal, se realiza la construcción de una presa o azud bajo transversal al cauce.

**Figura 5.** Partes de la bocatoma convencional



**Fuente:** GARCÍA, José Luis. Diseño hidráulico de estructuras

1. Azud de derivación.
2. Compuerta de limpieza.
3. Reja de entrada.
4. Desripiador.
5. Vertedero del desripiador.
6. Compuerta del desripiador.
7. Losa de operación de las compuertas.
8. Canal de desfogue.
9. Transición.
10. Compuerta de admisión.
11. Canal de conducción.
12. Muro de ala.
13. Muro de ala.

### 3.2 Sistema de conducción [4]

Este sistema es el encargado de guiar el agua captada hacia el tanque de presión. La obra de conducción se realiza en función de conseguir una mayor eficiencia y seguridad

de las obras, además la pendiente de la conducción se establece con un criterio técnico económico.

Pueden usarse tuberías o cañerías para conducir grandes caudales de agua, en cuyo caso hacen el mismo papel que los canales abiertos y los túneles. Los materiales más usados son: hormigón armado, fundición de hierro, acero, fibrocemento y plástico.

**3.2.1 Azud o presa de derivación.** El azud o presa, es la obra civil encargada de elevar el nivel del agua, misma que sirve para conducir el caudal de agua adecuado para el diseño de un proyecto hidroeléctrico.

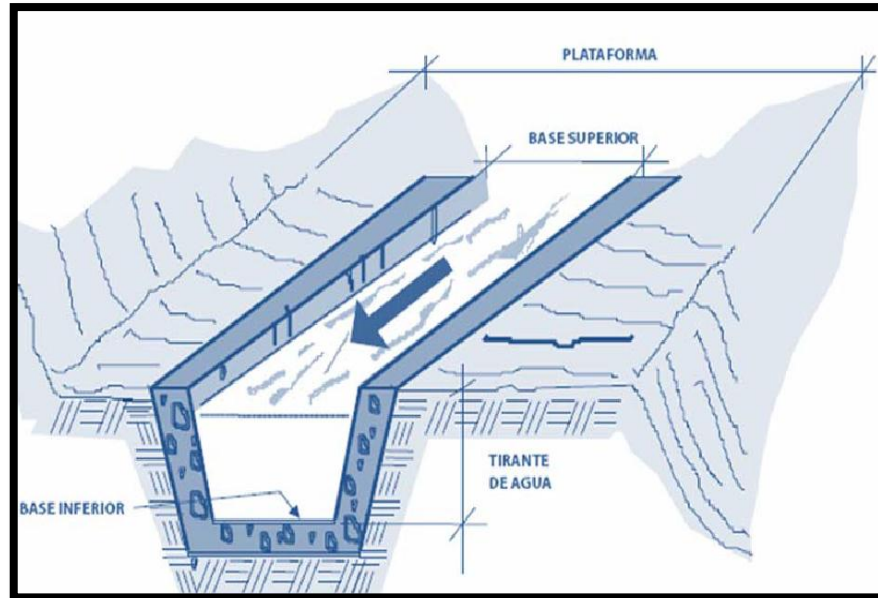
Sobre el azud cruzara una lámina fina de agua, lo cual hacerlo por encima del perfil del este, se transforma en una fuerza centrífuga que producirá una alteración de presiones, es por ello que es conveniente realizar un perfil adecuado del mismo, tal que permita eliminar la presión en todos sus puntos de estructura, que puedan ocasionar algún daño a la obra.

**3.2.2 Rejilla de admisión.** Se llama de esa manera a la compuerta metálica que sirve para eliminar los materiales de acarreo que se tienden a acumular en el azud. El material que se está acumulado es expulsado posteriormente a través de una compuerta por un canal de limpieza o a su vez por un operario que se encarga del mantenimiento de la bocatoma.

**3.2.3 Colector.** Posteriormente después de la rejilla se dispone de una galería donde se capta el agua hacia el colector y dónde los sólidos en suspensión podrán ser evacuados, es necesario que este canal tenga un talud adecuado para poder evacuar estos sedimentos el cual se recomienda poseer una pendiente suficiente con el propósito de garantizar que los sedimentos bajen hacia el colector y posteriormente hacia la tubería de conducción.

### 3.2.4 Canal de conducción

**Figura 6.** Esquema de un canal de conducción



**Fuente:** ROJAS, Amancio .Diseño de obras civiles

Los canales deben seguir en general el perfil del terreno y se colocan de la manera más favorable en cuanto al costo de construcción y presión resultante. Una vez que se ha definido el perfil del canal, se instala prestandose particular atención a la línea de gradiente hidráulico. Cuando más se adapte el perfil a este gradiente hidráulico, menor será la presión en el canal, lo que da como resultado un menor costo de la misma.

El criterio técnico está sujeto a las características topográficas de los posibles sitios de toma y también a la variación del caudal que generalmente disminuye aguas arriba .El criterio económico depende de la longitud de la conducción además de la pendiente que tenga el río.

Deberá tenerse mucho cuidado con la pendiente, la sección y la rugosidad, de tal forma que al final se pueda conducir el caudal de diseño del proyecto.

El canal es un componente importante de las obras civiles de un proyecto hidráulico, su principal función es conducir el agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga, pasando por los desarenadores y otros mecanismos que pueden construirse en el trayecto.

Los canales están determinados por las características geométricas de su sección y por el material de construcción. Los más conocidos y usados son los rectangulares, trapezoidales, circulares y semicirculares. Por su material de construcción tenemos entre los más comunes a los de tierra, concreto, mampostería de piedra, madera y tubería de PVC.

En el caso del revestimiento, este será necesario solo en lugares donde se justifique (terrenos arenosos, gredosos, etc.), donde permita alta filtración del agua en movimiento.

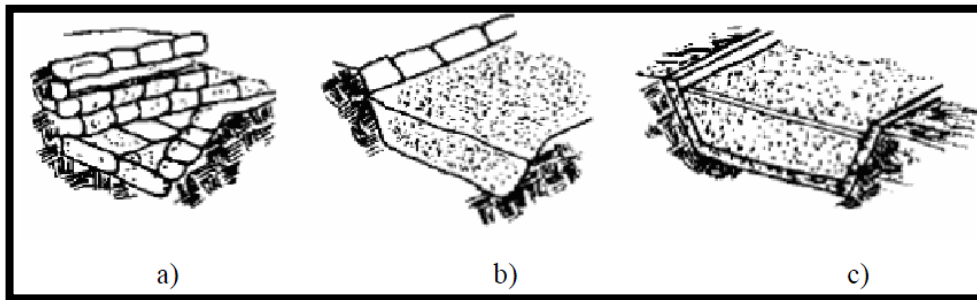
Es muy importante elegir correctamente el tipo de canal para cada parte de longitud del canal. Una vez elegido el tipo de canal y el material de revestimiento correspondiente, se procederán a calcular las dimensiones adecuadas, así como el desnivel correcto entre el inicio y final de este. Dependiendo de la longitud del canal, así como de las características geológicas del terreno, se pueden combinar varios tipos de canal y también materiales de construcción; por ejemplo canal rectangular y trapezoidal, de tierra y revestido, etc. Deberá tenerse mucho cuidado con la pendiente, la sección y la rugosidad, de tal forma que al final se pueda conducir el caudal de diseño del proyecto. En la figura 7 se puede observar los diferentes tipos de canales;

- a) Canal de tierra sin revestimiento
- b) Canal de tierra con revestimiento
- c) Canal de mampostería.

:



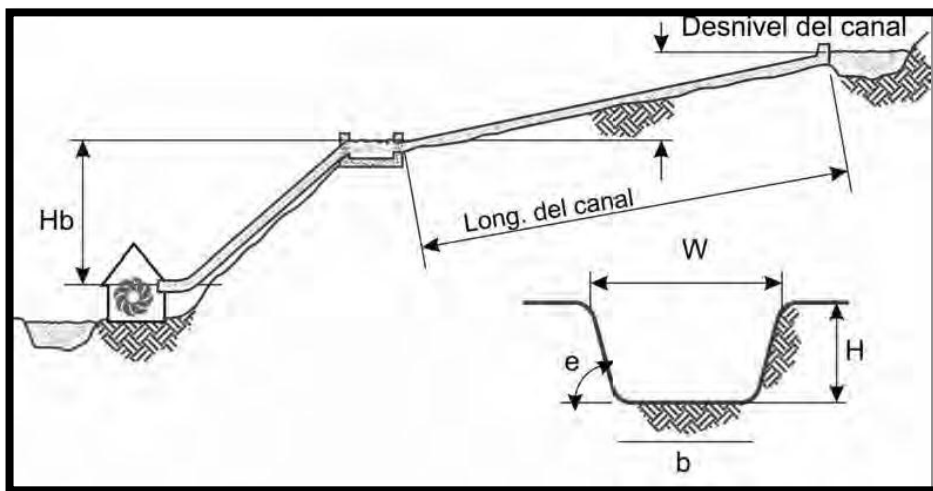
**Figura 7.** Tipos de canales de conducción



**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas

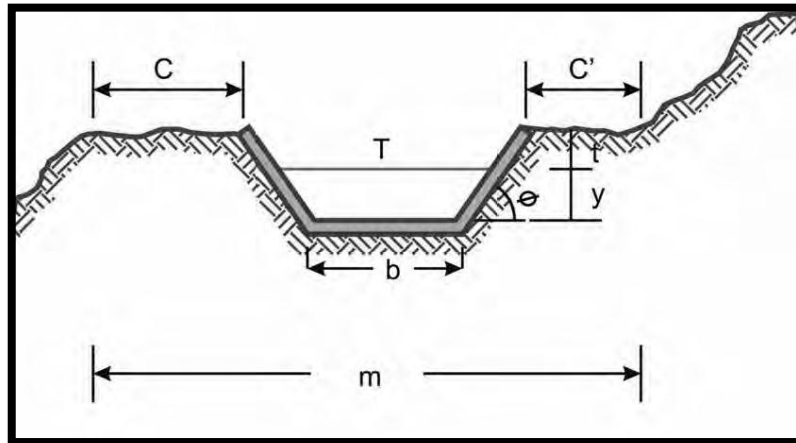
En las figuras 7 y 8, se observa las dimensiones principales de las cuales está compuesto un canal de conducción.

**Figura 8.** Dimensiones de un canal de conducción.



**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas.

**Figura 9.** Vista en sección de un canal de conducción.



**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas

Dónde:

- ✓  $C$  = Corona del canal o camino.
- ✓  $C'$  = Sobreancho.
- ✓  $T$  = Espejo de agua.
- ✓  $b$  = Solera o fondo de canal.
- ✓  $y$  = Tirante o profundidad del agua.
- ✓  $t$  = Borde libre.
- ✓  $H$  = Altura total del canal.
- ✓  $m$  = Ancho de plataforma del canal.
- ✓  $\emptyset$  = Angulo de inclinación de las paredes con la horizontal.

**3.2.5 Túnel de conducción [5].** El túnel es una obra de construcción subterránea que se excava siguiendo su eje y es usada en los siguientes casos:

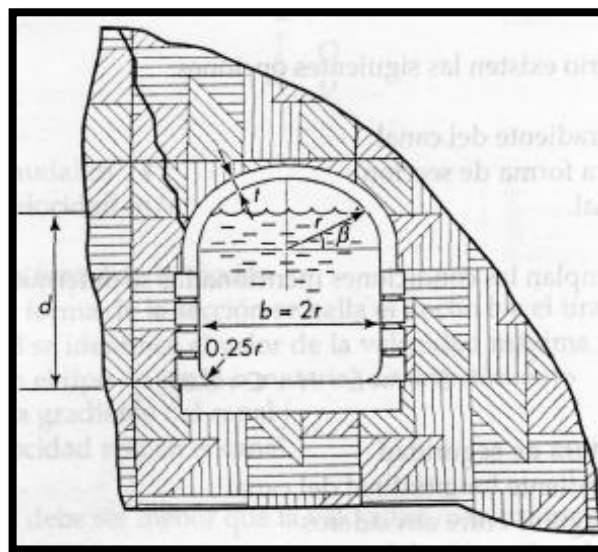
- ✓ Cuando es más económico atravesar un macizo que trazar un canal por su contorno.
- ✓ Cuando la pendiente transversal del terreno es elevada (mayor de 45%) y el material no permite asegurar la estabilidad del canal.

El túnel de conducción trabaja a presión atmosférica, simulando un canal abierto. El túnel debe mantener la pendiente del canal y seguir la distancia más corta la cual se verá alterada por las condiciones topográficas, geológicas y geomorfológicas del terreno.

La forma de la sección del túnel debe ser tal que su área permita la circulación del caudal máximo y resista las presiones, las cuales determinan la forma de sección y el tipo de revestimiento del túnel.

Los túneles pueden tener forma circular, de herradura o de baúl. La forma circular garantiza el área óptima, pero es de difícil construcción; la forma de baúl es más sencilla de construir. La Figura 3.5 ilustra las características de un túnel tipo baúl.

**Figura 10.** Esquema del túnel tipo baúl



**Fuente:** ROJAS, Amancio Diseño de obras civiles.

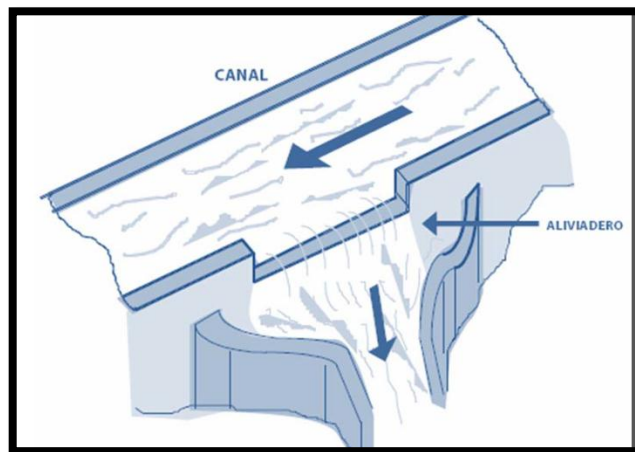
Los túneles deben tener un tamaño tal que su flujo sea aproximadamente tres cuartos de la tasa de flujo señalada, frecuentemente a los túneles para la transmisión de agua de flujo libre se les da la forma de herradura, se les construye para acortar la longitud total de una ruta de transmisión de agua y para evitar la necesidad de que cualquier acueducto y conducto atravesase terreno desnivelado.

Por lo general, se reviste los túneles para reducir pérdidas de carga y el ingreso de filtraciones, sin embargo cuando se les construye en roca estable no requieren revestimiento. La velocidad de flujo en estos acueductos y túneles varía entre 0,3 y 0,9 m/s para conductos no revestidos y hasta 4 m/s para conductos revestidos.

### 3.3 Aliviaderos [3]

Es una obra de seguridad ubicada en un sitio estratégico del sistema de conducción que se encarga de verter de nuevo al río las aguas de exceso que superan la capacidad del canal, las aguas de exceso se producen por daño u obstrucción de los pasos de aguas lluvias haciendo que gran parte de las aguas se escurran por la ladera entren al canal aumentando considerablemente el caudal, y por derrumbes en las laderas del canal , provocando un represamiento que hace que el nivel aumente hasta que en un momento se desborda sobre las paredes del canal.

**Figura 11.** Esquema del aliviadero o vertedero.



**Fuente:** ROJAS, Amancio Diseño de obras civiles.

Este desbordamiento del caudal del agua puede generar erosión intensiva y una destrucción rápida de la base por lo general de reparación costosa.

Estas estructuras facilitan la evacuación de caudales de aguas excedentes o superiores a los que se desean captar.

Para conseguir que el agua salga por los aliviaderos existen grandes compuertas de acero que se pueden abrir o cerrar a voluntad, según la demanda de la situación. Durante las crecidas los caudales excepcionales serán evacuados por los vertederos si por algún motivo dichos caudales llegaran a ingresar al sistema podrían generar problemas de imprevisibles consecuencias.

### **3.4 Desarenadores [3]**

El desarenador es una obra hidráulica que sirve para sedimentar partículas de tierra y arena que son arrastrados a lo largo del canal y evitar su ingreso a la tubería de presión.

Las partículas se mantienen en suspensión debido a que la velocidad de entrada a la bocatoma es elevada y suficiente para arrastrarlas. Esto ocurre especialmente en tiempo de crecidas cuando entran a las conducciones grandes cantidades de sedimentos.

Durante las crecientes el porcentaje de sólidos en los ríos de montaña puede llegar a ser del 4% al 6% en volumen del caudal y del 0.2 al 1 % en los ríos de llanura.

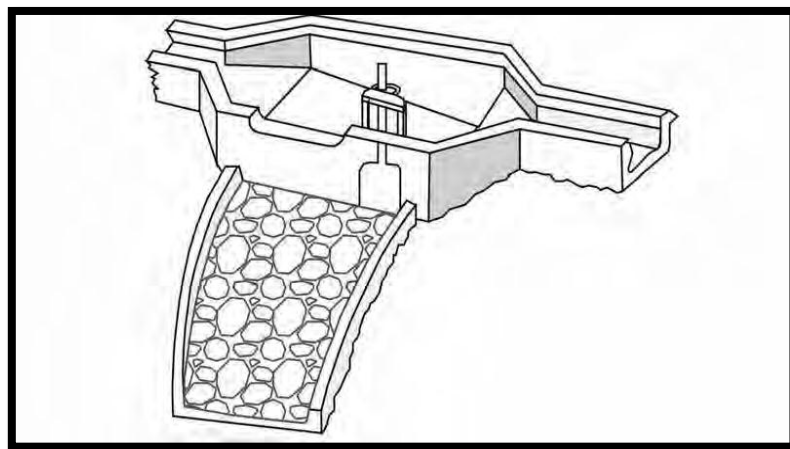
El objetivo del desarenador es el eliminar todas las partículas de material sólido suspendidas en el agua. Para que éstas se decanten se debe disminuir la velocidad de entrada mediante la variación de la pendiente anterior.

La velocidad de la corriente en el desarenador no debe ser superior a 0.5 m/s, dado que en velocidades superiores las partículas no se decantan.

Las partículas de diámetro superior a 0.2 mm ocasionan daños en la turbina por lo que deberán ser retenidas y eliminadas al momento. En ellos la velocidad del agua es reducida con el objeto de que las partículas de arena o piedras se asienten en el fondo, de dónde podrán ser removidas oportunamente. Es necesario que el sedimento se asiente tanto al inicio de la conducción como en la entrada del agua a la tubería o cámara de carga. En resumen, el desarenador cumple la función de sedimentar las partículas que lleva el agua en suspensión en el sistema de conducción. La figura 3.8 muestra un diseño simple de un desarenador al inicio de la conducción y la figura 3.9 muestra el ingreso a la cámara de carga. Ambos depósitos deben cumplir estos cinco principios importantes:

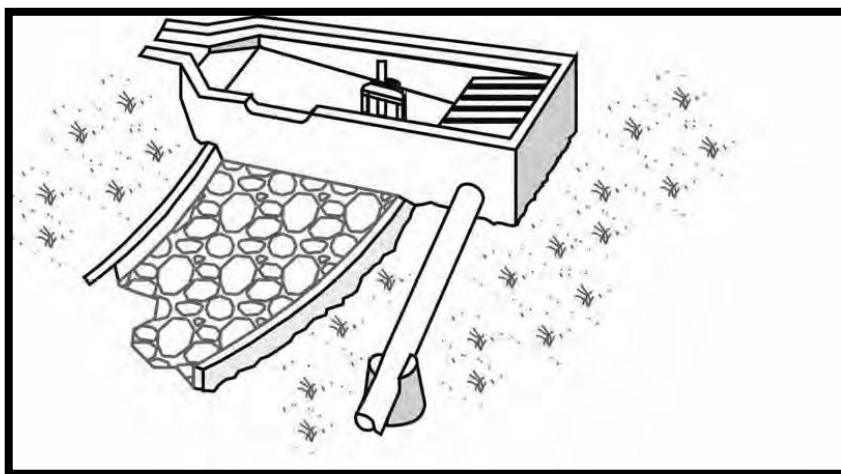
- ✓ Deben tener una longitud y un ancho adecuados para que los sedimentos se depositen sin ser demasiados voluminosos o caros.
- ✓ Deben permitir una fácil eliminación de los depósitos.
- ✓ La eliminación de sedimentos a través de la compuerta debe hacerse cuidadosamente para evitar la erosión del suelo que rodea y soporta la base de la tubería y del depósito. Es mejor construir una superficie revestida (mampostería de piedra o concreto) similar al canal de desagüe del aliviadero.
- ✓ Se debe impedir la turbulencia del agua causada por cambios de área o recodos que harían que los sedimentos pasen hacia la tubería de presión.
- ✓ Tener capacidad suficiente para permitir la acumulación de sedimentos.

**Figura 12.** Esquema de un desarenador al inicio del sistema de conducción



**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas

**Figura 13.** Esquema de una cámara de presión con desarenador incluido.



**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas.

**3.4.1** *Tipos de desarenadores [3].* Los desarenadores se clasifican por la forma de eliminar los sedimentos:

- ✓ Desarenadores de lavado intermitente.
- ✓ Desarenadores de cámara doble.
- ✓ Desarenadores de lavado continuo.

**3.4.1.1** *Desarenadores de lavado intermitente [3].* Este desarenador se caracteriza porque periódicamente se hace el retiro de las partículas sedimentadas mediante el lavado, aunque esta operación se procura realizar en el menor tiempo posible para evitar las interrupciones en el servicio de suministro de energía, éste está determinado por la cantidad de sedimentos que trae el agua. Este tipo de desarenador tiene los siguientes componentes:

- **Compuertas de admisión:** Una de ella se localiza entre la entrada del desarenador y la otra en el canal de evacuación de sedimentos.
- **Una transición:** se localiza a la entrada del desarenador la cual garantiza una velocidad uniforme y una eficiente sedimentación.

En la cámara de sedimentación las partículas se sedimentan debido a la disminución de la velocidad y al aumento de la sección. Para desalojar los materiales depositados en el fondo hacia la compuerta de lavado generalmente se le da un gradiente elevado del 2 al 6 %.

Un estudio de la cantidad y tamaño de los sedimentos que trae el agua asegura una adecuada capacidad del desarenador para no ser lavado frecuentemente.

La compuerta de lavado es la que controla el desalojo del material sólido depositado en el fondo. Su lavado se facilita con la pendiente hacia la compuerta ayudada con el bajo nivel de agua que queda una vez evacuado el volumen principal del tanque.

**3.4.1.2 Desarenadores de cámara doble [3].** Por lo general cuando el caudal pasa de 10 m<sup>3</sup>/s se recomienda dividir el desarenador en dos o más cámaras de igual sección.

Cuando se tienen dos cámaras cada una de ellas se calcula para la mitad del caudal y solamente durante el lavado una de ellas trabaja con el caudal total. En este tipo de desarenadores cada cámara tiene su compuerta de admisión y de lavado independientes.

**3.4.1.3 Desarenadores de lavado continuo [3].** En ellos el material depositado se elimina en forma continua para ello se requiere que el caudal disponible sea mayor que el de diseño.

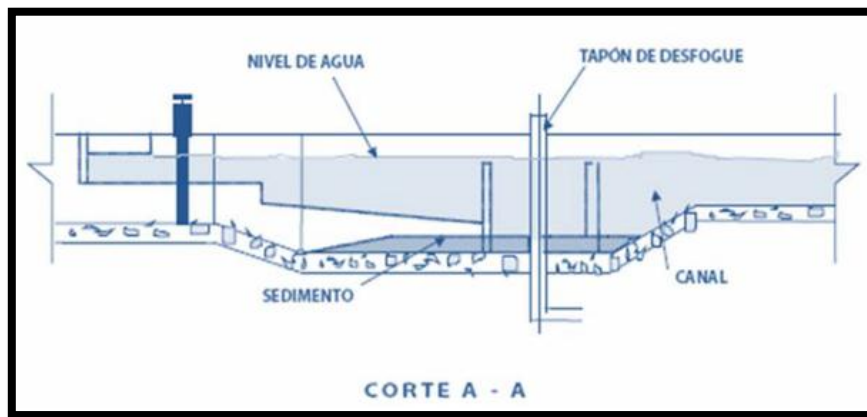
Este desarenador se divide en dos cámaras, una superior y una inferior las cuales están separadas por una reja de barrotes.

La cámara inferior está situada junto al fondo y contiene los sedimentos más pesados, la cámara superior que se encuentra encima de la otra tiene una sección grande en la cual se produce la sedimentación.

Como el agua que sale de la galería tiene una velocidad relativamente alta, ésta arrastra consigo los sedimentos. Las arenas que se depositan en la cámara superior son arrastradas a la inferior a través de los espacios estrechos entre barrotes por el agua que pasa de una cámara a la otra.

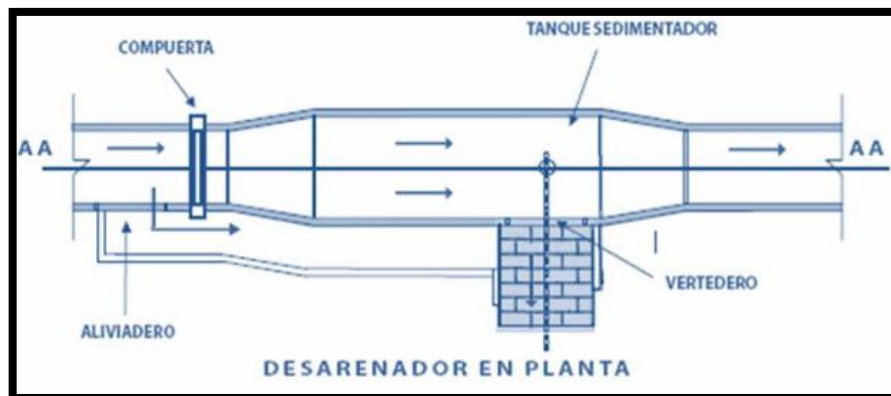


**Figura 14.** Vista lateral del desarenador



**Fuente:** ROJAS, Amancio. Diseño de obras civiles

**Figura 15.** Vista de planta del desarenador



**Fuente:** ROJAS, Amancio. Diseño de obras civiles

La profundidad del desarenador se divide en dos partes: decantación (dd) y de recolección (dr). Es muy importante distinguir entre estas dos profundidades, ya que el desarenador funcionará correctamente solo si no se permite que la sedimentación que se va formando exceda el borde del área de recolección que se encuentra en el límite superior de la zona de recolección (dr).

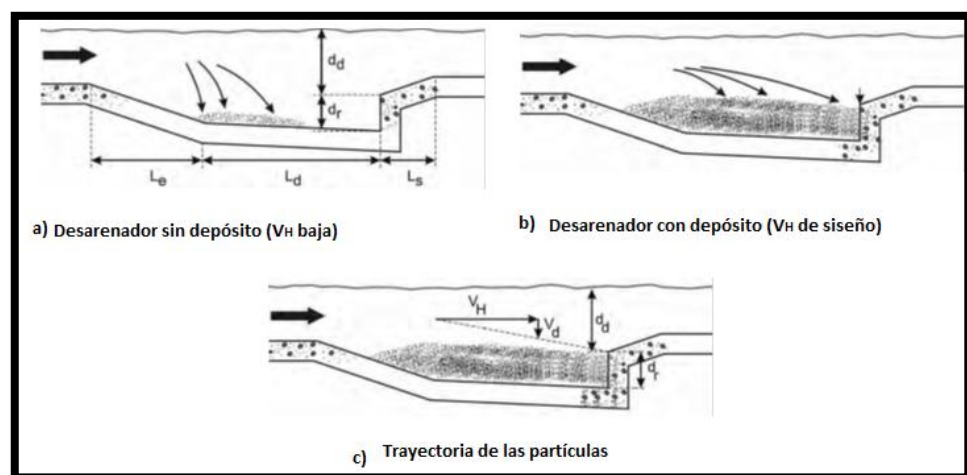
La velocidad horizontal del agua ( $V_h$ ) será baja, puesto que la zona de decantación del desarenador tiene una gran sección transversal (A). En el diseño del desarenador deberá tenerse cuidado en tomar una velocidad baja. Se recomienda un valor de 0.2 m/s en la

mayoría de los casos, pero también pueden adoptarse valores más altos, hasta 0.5 m/s. Para el caso de los valores de la profundidad (dd), estos no deberán ser mayores a 1 m para fines de diseño. Otra razón práctica para ello es que el drenaje de la sedimentación del desarenador puede ser difícil de realizar si este es muy profundo.

La figura 16 (c) muestra la trayectoria seguida por las partículas de arena, inicialmente, al estar el desarenador limpio de depósitos, la velocidad de agua tendrá valores menores que la velocidad calculada. Cuando el tanque recolector está lleno, la velocidad del agua será mayor y las partículas viajarán hacia adelante del desarenador. La velocidad con que las partículas caen depende de su tamaño, forma, densidad y del grado de turbulencia del agua.

Cuando el flujo de agua no es turbulento, la velocidad de decantación  $V_d$  (vertical) de partículas pequeñas es conocida. En la mayoría de las microcentrales hidráulicas es suficiente eliminar partículas que tengan más de 0.3 mm de diámetro, que tienen velocidades de decantación mayores de 0.03 m/s. El desarenador debe ser lo suficientemente largo como para permitir que se decanten las partículas más livianas cuando la zona de decantación esté llena.

**Figura 16.** Muestra la trayectoria seguida por las partículas de arena.



**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas

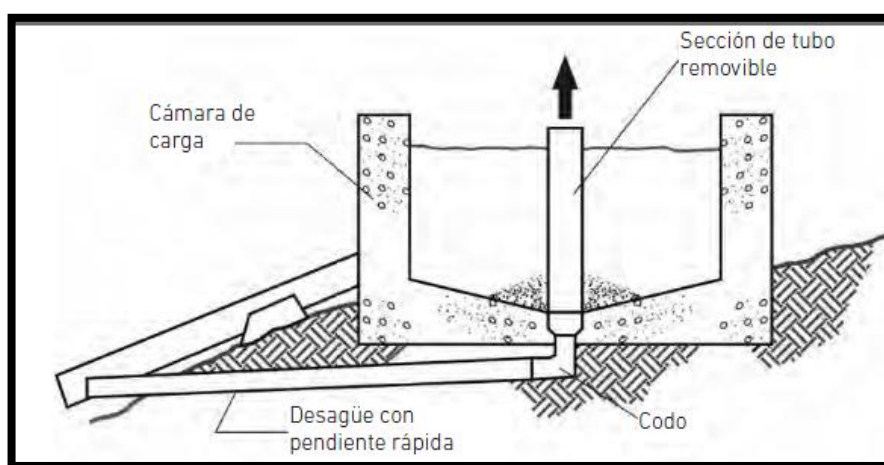
**3.4.2 Secciones de ingreso del desarenador [3].** La longitud de entrada y salida ( $L_e$  y  $L_s$ ) como se muestra en la figura 16 parte a debe ser 1.5 veces el ancho de la zona de decantación si es que se quiere evitar la turbulencia en el agua.

**3.4.3 Limpieza de desarenadores y corte del agua [3].** Por lo general la limpieza es un proceso en donde se abre la compuerta y el sedimento es removido con palas a lo largo del piso del depósito con el fin de dirigirlo a través de la compuerta hacia un canal de limpia ubicado adyacente al Desarenador. El piso del depósito debe estar ligeramente inclinado para facilitar esta operación.

Durante la limpieza manual, la compuerta de control de la bocatoma debe estar cerrada, a fin de parar la turbina. El vaciado debe realizarse en periodos en los que no se necesite la energía de la turbina.

Se pueden diseñar algunos dispositivos de limpieza semiautomáticos a fin de evitar el excesivo trabajo manual y los cortes de energía. Una posibilidad es el reemplazo de una compuerta de apertura lenta por un tubo de desagüe de limpieza.

**Figura 17.** Desagüe de limpieza y aliviadero



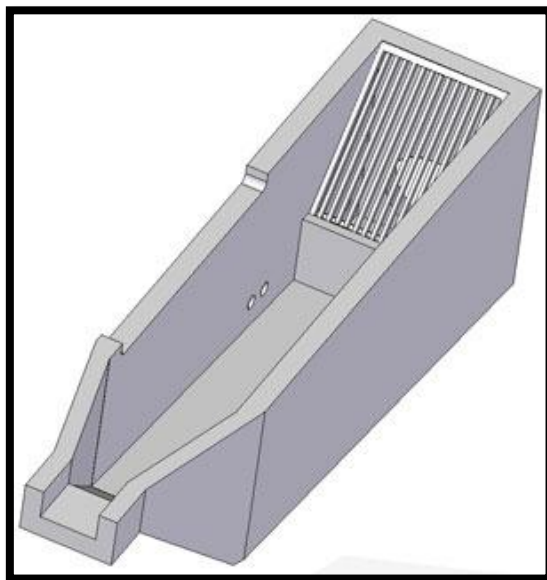
**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas

### 3.5 Tanque de presión o cámara de carga [5]

Las cámaras de carga se aplican a sistemas hidroeléctricos como estructuras de transición entre la conducción y la tubería de presión. Estos tanques tienen limitadas condiciones de regulación, debido fundamentalmente a los caudales que se utilizan en las turbinas, lo que no permite aprovechar el volumen de este tanque para el almacenamiento de agua, aunque es posible que se presenten casos de tanques de carga que trabajen como reguladores horarios.

En caso de mantenimiento o reparación de las turbinas, se desvía el flujo de agua a través de un vertedero de descarga lateral con capacidad para verter el caudal de entrada por el canal de conducción. Además, la cámara de carga es necesaria para aquietar el agua y puede tener incorporados elementos para permitir la decantación de arenas y partículas sólidas. En dicho caso, la cámara de carga debe tener las dimensiones adecuadas para cumplir esta función y estará constituida de hormigón o en mampostería de piedra.

**Figura 18.** Tanque de presión o cámara de carga



**Fuente:** info@aprotec.com.co

Su diseño debe considerar dos condiciones importantes:

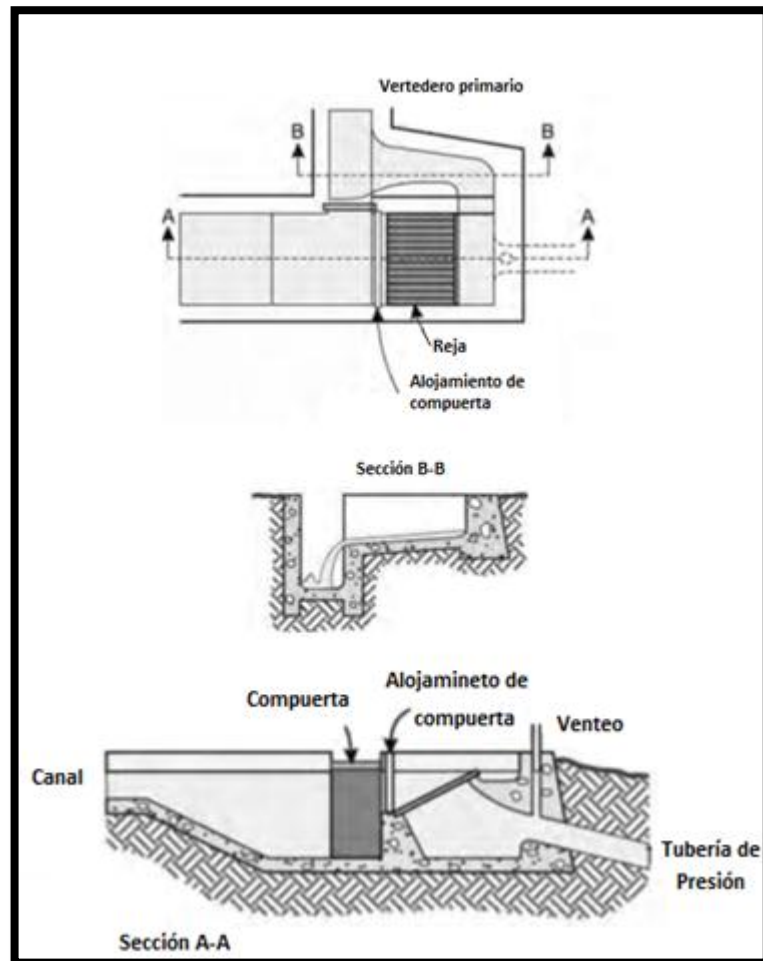
- ✓ Garantizar que no entre aire a la tubería de presión.
- ✓ Garantizar la estabilidad funcional de la cámara de carga y del canal de la conducción cuando haya parada brusca.

Como la reja se localiza debajo de la superficie del agua, la mayor parte de los arrastres (hojas, ramas, etc.) superficiales no son capturados por esta. El vertedero se coloca de modo que el exceso de agua que se desborda continuamente arrastra estos elementos flotantes de la cámara de carga.

Todas estas funciones deben tomarse en cuenta en el diseño, logrando geometrías que permitan el paso del agua con un escurrimiento que desarrolle velocidades que se incrementarán gradualmente hacia la tubería, en lo posible sin perturbaciones superficiales, choques contra las paredes y cambios bruscos de dirección.

Una cámara de carga tiene cuatro vías de movimiento de fluido .La primera es la acometida por donde ingresa el canal que trae el agua desde la toma. La segunda es un vertedero o tubo para eliminar los excedentes de caudal que no serán turbinados. La tercera es un descargador de fondo que permitirá el vaciado y limpieza de partículas sedimentadas. La cuarta es la alimentación mediante malla de filtrado o rejas a la tubería de presión que conduce el agua a la turbina.

**Figura 19.** diferentes secciones de una cámara de carga.



**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas

**3.5.1** *Dimensionamiento de la cámara de carga [5].* El dimensionamiento del tanque de presión debe tener las siguientes consideraciones:

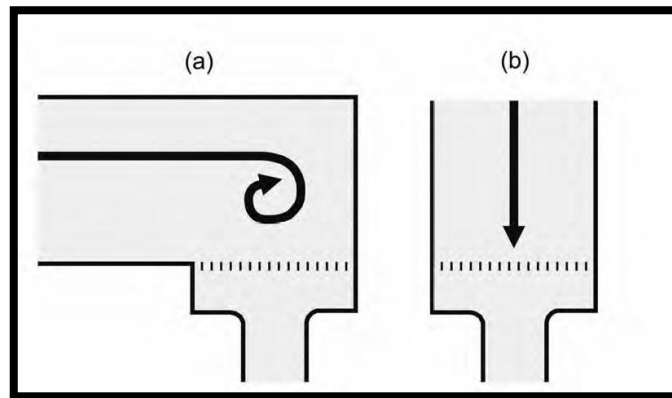
- ✓ Fluido exento del materiales en suspensión
- ✓ Canal y cámara de fondo plano de sección transversal rectangular
- ✓ Nivel de gua de referencia horizontal coincidente con el nivel de cresta del vertedero lateral ubicado en la tubería de conducción junto a la cámara de carga.

Para reducir turbulencia y pérdidas, la entrada a la tubería de presión en los grandes proyectos hidroeléctricos es generalmente acampanada. Sin embargo, para muchos micro proyectos, la entrada a la tubería de presión es simplemente una extensión del tubo dentro de la pared de la cámara de carga. Aun así, para estas configuraciones, las pérdidas producidas son por lo general mínimas.

En las cámaras de carga es importante el control de la formación de vórtices en un sector cercano al ingreso a la tubería de presión. La formación de un vórtice en la entrada a la tubería de presión de vez en cuando puede causar problemas. Esto puede inducir la pérdida del rendimiento de la turbina, presencia de cavitación, pulsaciones causadas por la formación, disipación de vórtices y reducción del caudal cuando el aire sustituye la parte del agua que entra a la tubería. También puede provocar la entrada de materiales sólidos flotantes en la tubería de presión.

Una entrada vertical tiene una mayor tendencia a la formación de vórtices que una horizontal. Mientras que estos parámetros son fáciles de cuantificar, la formación de vórtices también parece depender bastante de la circulación (remolinos) en el agua cuando esta se acerca a la entrada. Esta circulación está ligada principalmente a una función de la configuración del área aguas arriba de la entrada y puede estar causada por irregularidades del canal o por separación del flujo en el borde de un canal o en las paredes de la cámara de carga. El flujo que se acerca al punto de entrada asimétricamente es más propenso a la formación de vórtices que el flujo simétrico (ver figura 19) (a) Entrada horizontal, (b) Entrada vertical. Por lo tanto, es importante que los flujos aguas arriba del área de admisión sean tan directos y uniformes como sea posible.

**Figura 20.** Flujo asimétrico y simétrico en la entrada de la tubería

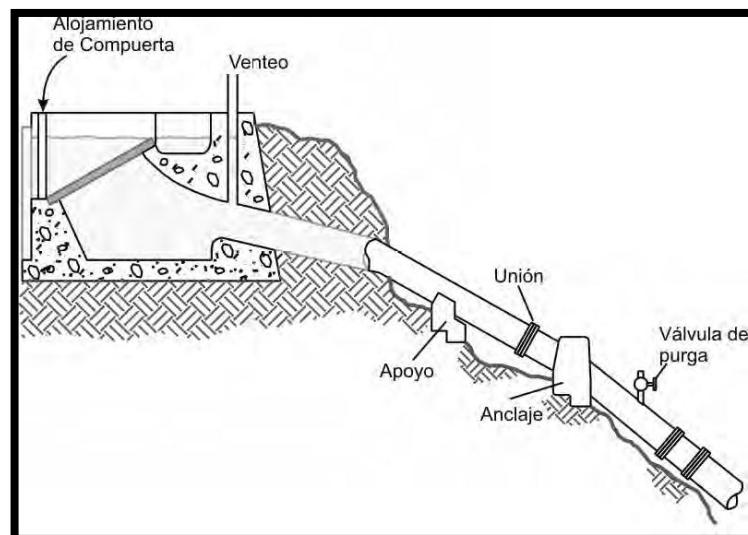


**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas

### 3.6 Tubería de presión [3]

Las tuberías de presión son las encargadas de transportar el agua hasta la turbina. Son tuberías que transportan agua bajo presión hasta una turbina, se conectan con la cámara de carga, para que desde allí empiece el sistema de conducción de alta presión. Los principales componentes de una tubería de presión se muestran en la figura 20.

**Figura 21.** Principales componentes de una tubería de presión.



**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas



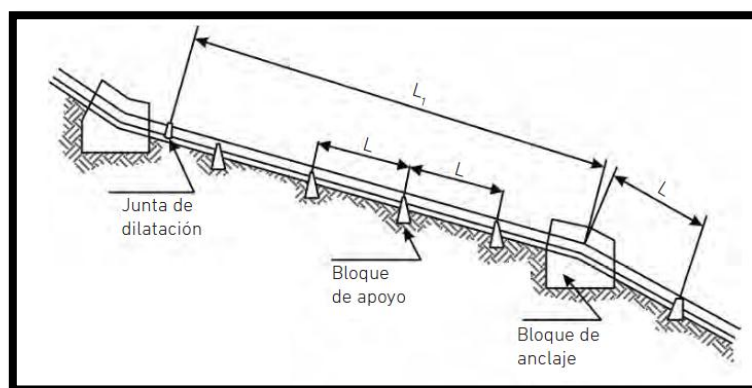
Debido a que el costo de esta tubería puede representar gran parte del presupuesto de toda la microcentral, es prioritario optimizar su diseño para reducir no solo los costos de mantenimiento sino también la inversión inicial.

Las tuberías forzadas pueden instalarse sobre o bajo el terreno, según sea la naturaleza de éste, el material utilizado para la tubería, la temperatura ambiental y las exigencias medioambientales del entorno. Por ejemplo, una tubería de pequeño diámetro en PVC se puede instalar extendiéndola simplemente sobre el terreno y siguiendo su pendiente, con un mínimo movimiento de tierras. En cambio, las grandes tuberías en acero deberán enterrarse siempre que el terreno no sea muy rocoso, y en ocasiones, aun cuando lo sea, si los requisitos medio ambientales del entorno lo exigen la arena y la grava que rodean una tubería enterrada constituyen un buen aislante, lo que permitirá eliminar un buen número de juntas de dilatación y de bloques de anclaje.

Para enterrar una tubería, previamente hay que pintarla y protegerla por su exterior mediante una cinta enrollada que garantice su resistencia a la corrosión. Si se hace así y la cinta no sufre daños durante el montaje, la tubería no necesitará ningún mantenimiento ulterior. Desde el punto de vista medioambiental esta solución es óptima, ya que el terreno puede ser restituido a su condición inicial y la tubería invisible al ojo humano, no constituirá barrera alguna al desplazamiento de los animales.

Instalada sobre el terreno, la tubería estará expuesta a variaciones de temperatura importantes y movimientos de contracción y dilatación en modo alguno despreciables. Las tuberías forzadas en acero se conciben como una serie de tramos rectos, simplemente apoyados en unos pilares y anclados sólidamente en cada una de sus extremidades, que en general coinciden con cambios de dirección. Entre cada dos anclajes consecutivos se intercala una junta de dilatación como se puede observar en la siguiente figura.

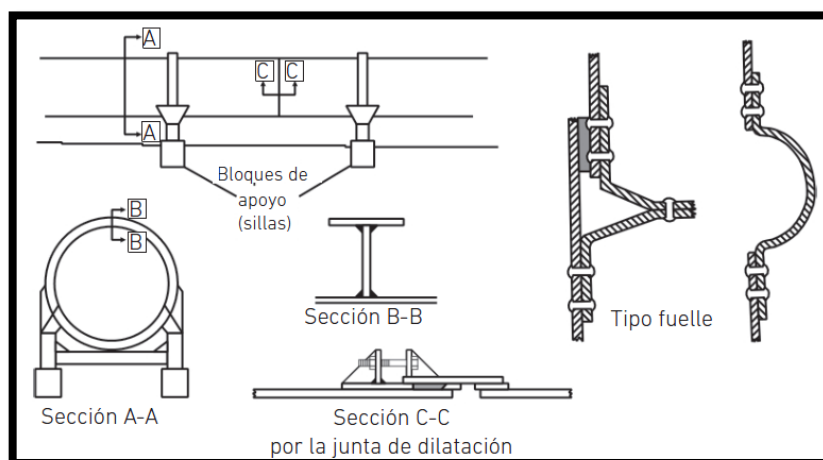
**Figura 22.** Esquema del sistema de apoyos en la tubería de conducción.



**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas.

Los anillos de soporte se diseñan basándose en el comportamiento elástico de los cilindros de débil espesor. La pared del tubo debe resistir las tensiones combinadas correspondientes a su trabajo como viga y como recipiente cilíndrico sometido a presión interna. El momento de flexión será el correspondiente a una viga continua. Las reacciones sobre los apoyos, propias de una viga continua, se transmiten por esfuerzo cortante, entre chapa y anillo. Para ello los anillos se sueldan a la chapa con soldaduras continuas en rincón y se rigidizan mediante diafragmas plasmados en la siguiente figura.

**Figura 23.** Tipos de soldaduras en los distintos apoyos.



**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas

**3.6.1 Selección de la tubería de presión [3].** Para realizar una correcta selección de una tubería de presión, se debe considerar los siguientes parámetros:

- ✓ Considerar las diferentes clases de material para uniones.
- ✓ Comparar costos de mantenimiento.
- ✓ Tomar diámetro de tubería y espesores de pared disponibles.
- ✓ Calcular la pérdida de altura por fricción del 4- 10% para determinados materiales y diámetros.
- ✓ Calcular la posible sobrepresión ocasionada por golpe de ariete en el caso del cierre brusco del paso del agua y sumarla con la presión estática.
- ✓ Calcular espesores de pared adecuados para determinados tamaños de tubería.
- ✓ Diseñar soportes, anclajes y uniones.
- ✓ Preparar la tabla de opciones calculando el costo de cada una de las opciones y ver su disponibilidad en el mercado.
- ✓ Seleccionar el diámetro en función del menor costo y menores pérdidas de energía.

**3.6.2 Materiales [3].** Entre los posibles materiales a usar para tuberías forzadas y que, en ocasiones pueden sustituir ventajosamente al acero se destacan los siguientes:

**a) Polietileno.**

El polietileno de baja y media densidad (HDP y MDPE) se viene utilizando desde hace tiempo en aprovechamientos con baja altura de salto. En los últimos años ha hecho su aparición en el mercado el polietileno de altas prestaciones (HPPE), que puede utilizarse en saltos de hasta 160 m de altura. Las tuberías de polietileno son relativamente pesadas pero muy robustas.

**b) Cloruro de polivinilo (PVC o PVC-U).**

La tubería de PVC14 resulta muy competitiva en alturas medias de salto (una tubería de 40 cm de diámetro puede utilizarse en saltos de hasta 200 metros) en las que, con frecuencia, resulta más barata que la de acero, es más fácil de manejar en obra y no requiere ninguna protección contra la corrosión. Se espera que lleguen en breve al

mercado tuberías de PVC molecularmente orientado (MOPVC), aún más resistentes que las anteriores. Todas estas pueden soldarse mediante disolventes (si están sometidas a esfuerzos longitudinales) o unirse mediante conexiones mecánicas. Se recomienda proyectar la tubería con diámetros decrecientes, a fin de poder transportarlos unos dentro de otros.

Las tuberías en PVC son sensibles a las radiaciones ultravioletas, por lo que deben ser enterradas o recubiertas con cinta. El radio mínimo de curvatura de una tubería PVC es relativamente grande (100 veces su diámetro interno) y su coeficiente de dilatación es cinco veces mayor que el del acero. Resultan relativamente frágiles y no se prestan a ser instalados en terrenos rocosos.

*c) Tuberías de aleaciones de plástico*

Recientemente ha hecho su aparición en el mercado una tubería conocida como HepO, fabricada con una mezcla de PVC y derivados acrílicos. Utilizable en saltos de hasta 160 m, su espesor es inferior al de las tuberías equivalentes en PVC y sus propiedades mecánicas comparables a las del HPPE. Se comporta dúctilmente bajo carga, eliminando los problemas de rotura frágil que afectan al PVC.

*d) Tuberías reforzadas con fibra de vidrio (GRP)*

Estas tuberías están ganando progresivamente mercado en Europa gracias a su elevada resistencia. Su costo es competitivo y su peso inferior en 20 % al de los tubos de acero, lo que facilita su instalación, aun cuando haya que manejarlos con cuidado para evitar que sus bordes se deterioren.

*e) Tuberías de polietileno de alta densidad (PE)*

Solo se suministran para diámetros de hasta 30 cm. Pueden ser instaladas al aire libre y se pueden curvar a un radio de 20 a 40 veces su diámetro, aunque si se requieren curvas más pronunciadas se pueden utilizar elementos prefabricados.

El PE flota en el agua, lo que permite arrastrar tramos de gran longitud utilizando un cable. Por ahora la unión en obra de dos tramos exige el empleo de soldadura por fusión, para lo que se necesitan máquinas relativamente pesadas. Las tuberías de PE pueden soportar temperaturas inferiores a cero grados.

**Tabla 2.** Materiales utilizados en tuberías forzadas.

Material	Módulo de Young	Coeficiente de expansión	Carga de tracción	n
	(N/m <sup>2</sup> )-10 <sup>9</sup>	(mm/°C)-10 <sup>6</sup>	(N/m <sup>2</sup> )-10 <sup>6</sup>	
Acero soldado	206	12	400	0.012
Polietileno PE	0.55	140	5	0.009
PVC	2.75	54	13	0.009
Fundición	78.5	10	140	0.014
Hierro dúctil	16.7	11	340	0.015
Metal corrugado	206	-	400	0.024

**Fuente:** Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas.

**3.6.3 Tipos de uniones [4].** Las tuberías generalmente vienen en longitudes estándar y deben ser unidas entre sí, al escoger el mejor método de unión para un sistema determinado, hay que considerar los siguientes aspectos:

- Adecuación al material de tubería utilizado
- Grado de destreza del personal que instala las tuberías
- Grado de flexibilidad requerido en las uniones
- Costos relativos
- Grado de dificultad de la instalación

Existen diferentes tipos de uniones a continuación se menciona las siguientes categorías:

**3.6.3.1 Uniones con bridas [4].** Cuando se fabrica la tubería individualmente se colocan bridas en sus extremos las cuales durante la instalación son empernadas unas con otras, se debe colocar un empaque de caucho entre cada par de bridas. Éstas uniones por lo general se utilizan en tuberías de acero y en ocasiones en hierro dúctil.

**3.6.3.2 Espiga y campana [4].** Éstas uniones son preparadas en fábrica de tal manera que su diámetro interno de la tubería es igual al diámetro interno de la siguiente. El

extremo de cada tubería puede ser empatado con la campana de otra .Se debe sellar cada sección de tubería empleando un buen sello de caucho o un pegamento especial.

Recomendaciones cuando se realiza este tipo de unión:

- El sello debe estar limpio al momento de la unión
- Evitar unir con lluvia
- Utilizar un lubricante especial
- Antes del acoplamiento final verificar la lineación de la unión

**3.6.3.3 Uniones mecánicas [4].** Estas uniones son costosas y muy poco usadas, su principal función es unir tuberías de diferentes materiales o cuando se necesita una ligera deflexión en la tubería que no necesita de un codo.

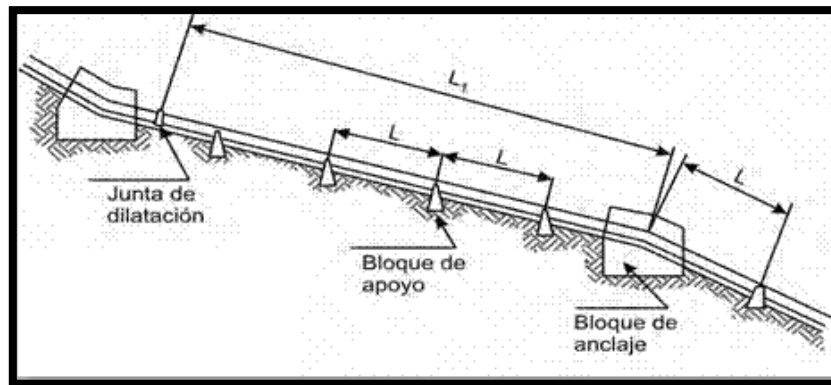
**3.6.3.4 Uniones soldadas [4].** Se emplean en tuberías de acero y en técnicas especiales con polietileno, es relativamente de bajo precio pero requiere personal especializado .Es imprescindible contar con una persona capacitada para realizar la soldadura para asegurar una buena unión.

**3.6.3.5 Juntas de expansión [4].** En las tuberías de presión de acero tiene que haber juntas de expansión, generalmente existe una debajo de la cámara de carga o del anclaje superior.

#### **3.6.4 Sistema de apoyos y anclajes [4]**

Las tuberías que se encuentran a ciclo abierto requieren de estructuras de concreto para sostenerse y apoyarse según la pendiente del terreno. El perfil de la tubería y el trazado permiten determinar la ubicación de apoyos y estructuras que la sostienen y permiten el desplazamiento longitudinal por variación de la temperatura .La ubicación de los anclajes está determinada por las variaciones del terreno y éstos están sometidos a esfuerzos por las cargas transmitidas por la tubería .El número de apoyos es un criterio técnico – económico determinado por el espesor del material de la tubería. El número de anclajes lo determinan las variaciones de la pendiente.

**Figura 24.** Sistema de anclajes y apoyos en la tubería de presión



**Fuente:** [http://www. Sistemas-apoyos-minicentrales-derivacion/sistemas-apoyos-minicentrales-derivacion.shtml](http://www.Sistemas-apoyos-minicentrales-derivacion/sistemas-apoyos-minicentrales-derivacion.shtml)

**3.6.5 Golpe de ariete [4].** Son ondas que se originan en el instante en que se cierra la directriz de la turbina o se produce un cierre brusco de la válvula de control. El agua que circula se detiene y la energía cinética que trae se convierte en presión, como resultado del aumento de presión el líquido se comprime y las paredes del tubo se expanden lo que permite que entre al tramo una cantidad de agua adicional antes de que se detengan.

**3.6.6 Chimenea de equilibrio [4].** Es el elemento encargado de disipar la energía cinética residual provocada por la acción de los elementos de control del sistema. Se encarga de reducir los estragos del golpe de ariete. Básicamente es un tubo o conducto que se sitúa luego del tanque de carga, posee la misma cota de agua que este gracias al principio de vasos comunicantes.

La regulación del caudal para reducir o aumentar la potencia genera ondas de oscilación en la tubería de presión que son amortiguadas en la chimenea de equilibrio como también los efectos que produce el golpe de ariete.

La condición más general para determinar la instalación de la chimenea de equilibrio es que si el tiempo de cierre de la directriz es menor de 3 segundos.

Otra forma de evitar la instalación de chimeneas de equilibrio es colocar válvulas de alivio próximas a la turbina o difusores como en el caso de la turbina Pelton.

### 3.7 Casa de máquinas [4]

**Figura 25.** Esquema de una casa de máquinas.



**Fuente:** [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xi.-las-centrales-hidroelectricas](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xi.-las-centrales-hidroelectricas)

Es la construcción en donde se ubican las máquinas (turbinas, alternadores, etc.) y los elementos de regulación y comando.

Es la estructura que aloja todo el equipo electromecánico, en los que se transforma la energía cinética del agua en energía mecánica y posteriormente en eléctrica. Una normalización del diseño de la casa de máquinas se puede obtener en función de la posición del eje del grupo turbina generador.

Este puede ser horizontal o vertical siendo el grupo de eje horizontal el que ofrece más facilidades para su montaje y mantenimiento por tal motivo es el más usado.\*

La transformación de la energía cinética en mecánica y de mecánica en eléctrica requiere como mínimo dentro de la casa de máquinas de los siguientes equipos:

- ✓ **Empalme entre la tubería de presión y la entrada a la válvula:** Esta reducción empalma la tubería de presión con las dimensiones de la válvula.



- ✓ **Válvula:** Es un elemento que está ubicado entre la tubería de presión y la turbina permite el paso o el cierre total del flujo del caudal.
- ✓ **Turbina:** Permite la transformación de la energía cinética en mecánica dispone de un regulador de velocidad que permite ajustar el caudal a la demanda de energía eléctrica.
- ✓ **Generador:** Permite la transformación de energía mecánica en energía eléctrica.
- ✓ **Voltaje de inercia:** Se encarga de compensar el momento de inercia del grupo turbina –generador.
- ✓ **Canal de salida de las aguas turbonadas:** El agua procedente de la turbina sale del rio por medio d un tubo difusor o a través de una galería que une con un canal.

**3.7.1 Ubicación [4].** La ubicación de la casa de máquinas se decide teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- ✓ Debe colocarse cercano al afluente
- ✓ Tener en cuenta que el canal de desagüe no se acumulen sedimentos que disminuya la sección.
- ✓ Un lugar con buena cimentación
- ✓ Facilidad de acceso
- ✓ Un factor principal en la ubicación de la casa de máquinas es que la disposición de los equipos armonice con el panorama exterior.

**3.7.2 Válvulas [4].** Son dispositivos muy importantes que van antes de la turbina para el cierre del caudal y para operaciones de reparación. Existen varias clases de válvulas a continuación se menciona las siguientes:

**3.7.2.1 Válvula mariposa [4].** Es una extensión de tubería dentro de la cual se coloca un disco en forma de lente montado en el eje central.

Para operar este tipo de válvula es necesaria la intervención de poca fuerza ya que la corriente en cada mitad del disco esta balanceada. Es de gran importancia que se la cierre lentamente para no originar un golpe de ariete en la tubería.

**3.7.2.2 Válvula de compuerta [4].** Está compuesta por un disco metálico que sube y baja a voluntad además está ubicada en el cuerpo de la válvula.

Para altas presiones el operar las válvulas de gran diámetro requiere de una fuerza considerable por ende cuando se coloca una válvula grande en la parte inferior de la válvula se debe colocar una válvula en by- pass para conectar los lados de alta y de baja presión.

**3.7.2.3 Válvulas esféricas [4].** Estas válvulas tienen una esfera hueca que puede girar sobre sí misma. Permiten un buen cierre pero no regulan muy bien el caudal. Pueden ser rápidas o lentas. Trabajan bien ante fluidos con sólidos en suspensión, suelen tener una válvula de by-pass y sus pérdidas son reducidas si están completamente abiertas.

### **3.8 Turbinas [6]**

Uno de los elementos más importantes que conforman un proyecto hidroeléctrico del cual depende en su mayor parte el rendimiento y el buen servicio del proyecto es la turbina.

Las turbinas son los mecanismos encargados de transmitir toda la energía mecánica del agua a los generadores para ser transformada en energía eléctrica.

Para la elección de este equipo está determinada por la caída ,el caudal y el esquema a elegir para la central.

Las turbinas se pueden clasificar de varias maneras estas son:

**a) Según la dirección en que entra el agua:**

- Turbinas axiales: el agua entra en el rodete en la dirección del eje.
- Turbinas radiales: el agua entra en sentido radial, no obstante el agua puede salir en cualquier dirección.

**b) De acuerdo al modo de obrar del agua:**

- Turbinas de chorro o de acción simple o directa.
- Turbinas de sobrepresión o de reacción.

**c) Según la dirección del eje:**

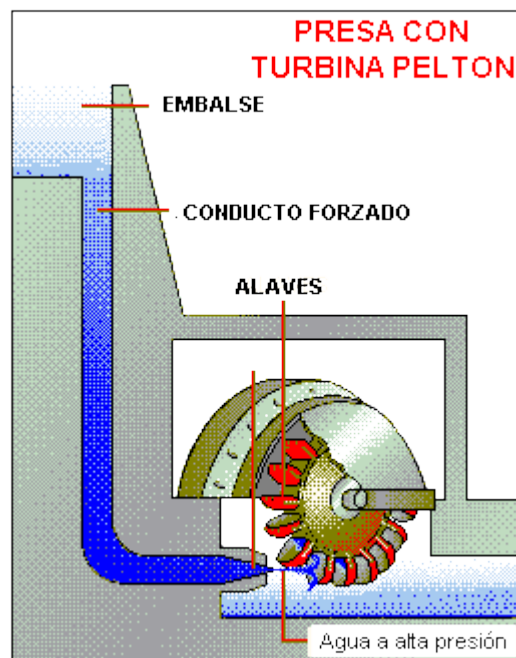
- Horizontales.
- Verticales.

Hay otras clasificaciones, según las condiciones de construcción, no obstante la clasificación más importante es la que las separa de acuerdo al modo de obrar el agua, estas son de reacción o de chorro.

Aunque hay muchas turbinas que entran en estas clasificaciones las más importantes son las turbinas Pelton, Francis y Kaplan.

**3.8.1 Turbina de acción Pelton [6].** En la turbina Pelton, el agua tiene una presión muy alta. La válvula de aguja, que se usa para controlar el flujo de agua, deja pasar un chorro de agua que choca con los álabes de la turbina transfiriéndole su energía y haciendo girar la turbina. Esta, a su vez, hace girar un generador que está acoplado al eje de la turbina para producir energía eléctrica, como medida de seguridad se usa una válvula esférica.

**Figura 26.** Esquema de una central con turbina Pelton.

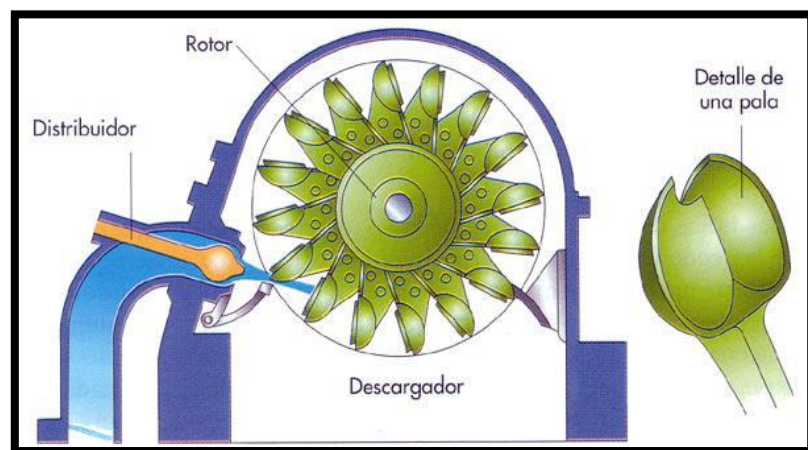


**Fuente:** <http://canovasblog-luna.blogspot.com/>

### 3.8.1.1 Características [6]

- ✓ Es una turbina de acción de flujo tangencial formada por una o más toberas y un rodete con un determinado número de cucharas.
- ✓ El rango de aplicación de éstas turbinas está delimitado a velocidades específicas bajas
- ✓ Aprovecha grandes saltos y caudales reducidos pudiendo obtener eficiencias del 85%
- ✓ Para su fabricación requiere de una planta industrial que cuente con: fundición, equipos de soldadura y corte, máquinas herramientas básicas como torno, cepillos y taladro. Generalmente se fabrica el rodete y las toberas por fundición.

**Figura 27.** Partes de la turbina Pelton.



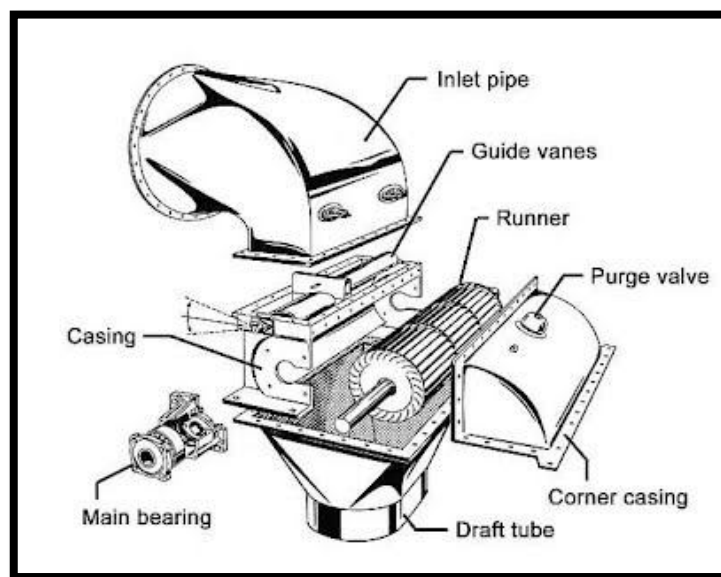
**Fuente:** <http://apsmaroc.wordpress.com/2011/02/10/energia-y-su-transformacion/>

**3.8.2 Turbinas de reacción [6].** Las turbinas de reacción son de dos tipos: Francis y Kaplan. En ellas ocurre un proceso similar, excepto que la presión es más baja, la entrada a la turbina ocurre simultáneamente por múltiples compuertas de admisión (wicket gates) dispuestas alrededor de la rueda de álabes (runner) y el trabajo se ejerce sobre todos los álabes simultáneamente para hacer girar la turbina y el generador.

**3.8.2.1 Turbina Michell-Banki [6].** Es una turbina de acción de flujo transversal, entrada radial y admisión parcial, formada por un inyector y un rodete provisto de un número determinado de álabes curvos.

El rango de aplicación está entre las Pelton de doble tobera y la turbina Francis, rápida trabajando principalmente en saltos y caudales medianos, pudiendo obtener eficiencias del orden del 80% y generando potencias hasta de 1000kW.

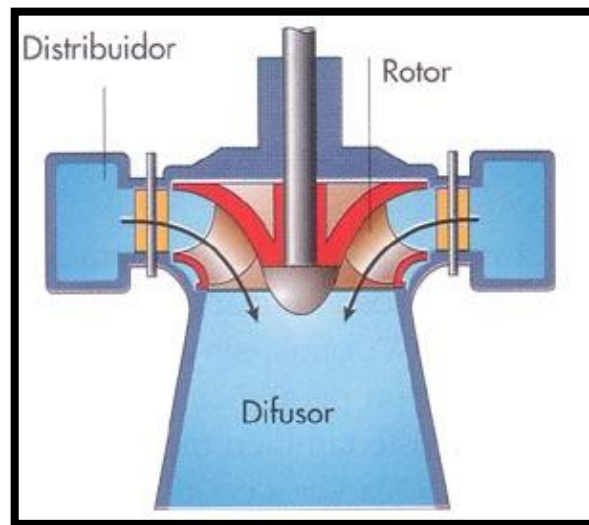
**Figura 28.** Esquema de una turbina Michell- Banki



**Fuente:** <http://www.alejandrobardi.com/manual-de-la-cuenca-del-lago-puelo/recomendaciones/turbinar-nuestros-rios>

**3.8.2.2 Turbina Francis [6].** Su aplicación está delimitada a velocidades específicas medias, operando al igual que la turbina Michell Banki con saltos y caudales medianos. Su eficiencia está comprendida entre 83% y 90%.

**Figura 29.** Esquema grafico de una turbina Francis

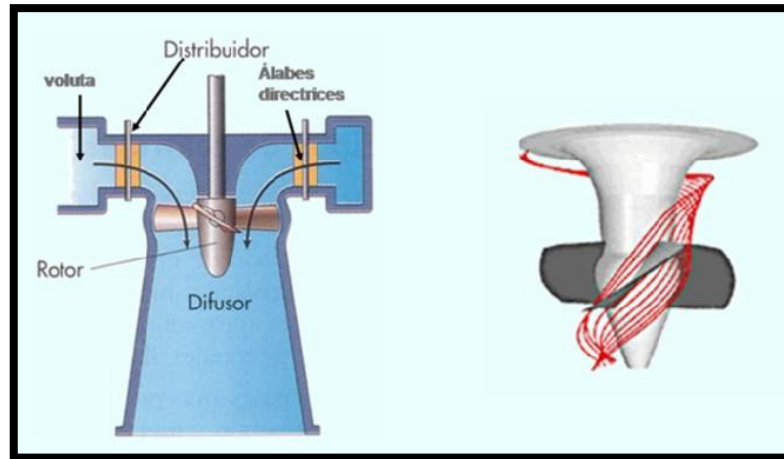


**Fuente:** <http://www.exatecno.net/ampliacion/energia/TurbinaFrancis.htm>

**3.8.2.3 Turbina Kaplan [6].** Esta máquina hidráulica se caracteriza por lo siguiente:

- ✓ Se utilizan para caídas bajas.
- ✓ El rodete recuerda la forma de una hélice de barco.
- ✓ El ángulo de inclinación de las palas del rodete es regulable.
- ✓ Se utilizan para gastos muy grandes.
- ✓ La regulación se efectúa por medio de un distribuidor como en las Francis y además con el ángulo de inclinación de las palas en el rodete.
- ✓ Es una turbina de reacción de flujo axial estando su sistema de regulación de velocidad incorporando en el rodete en el caso de la variante denominada Kaplan.
- ✓ Su rango de aplicación está delimitado a velocidades específicas bastantes altas. Operando con saltos muy pequeños y grandes caudales. Puede alcanzar hasta el 90% de eficiencia.

**Figura 30.** Esquema de la turbina Kaplan



**Fuente:** [http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-164.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-164.htm)

**3.8.2.4 Otras turbinas [6].** Además existen otras turbinas enunciadas a continuación:

**a) Turbina Turgo:**

- Equivalente a Pelton de varios inyectores
- Fuerte empuje axial

**b) Turbina Tubular:**

- Apta para pequeñas cargas
- Alta velocidad de empalamiento

**c) Turbina Bulbo:**

- Apta para pequeñas cargas
- Alta velocidad de empalamiento

**d) Turbina Straflow:**

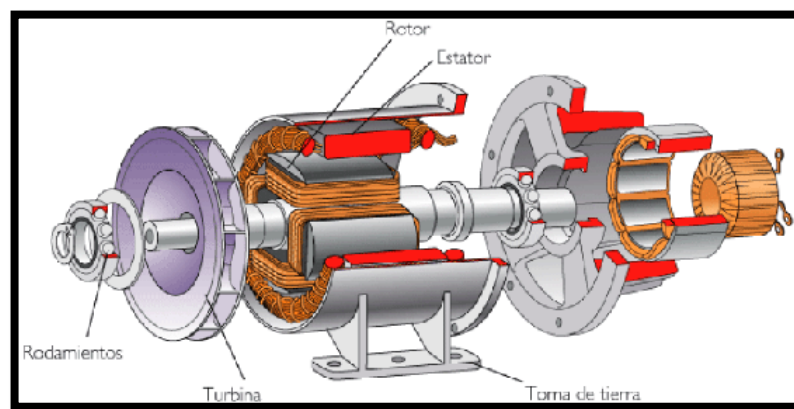
- Muy compacta
- Apta para pequeñas cargas
- Altas velocidades de empalamiento
- No se fabrica para potencias pequeñas

### 3.9 Alternadores [20]

Un alternador es una máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica proveniente de una turbina para transformarla en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética.

Los alternadores están fundados en el principio de que en un conductor sometido a un campo magnético variable se crea una tensión eléctrica inducida cuya polaridad depende del sentido del campo y el valor del flujo que lo atraviesa.

**Figura 31.** Esquema de un alternador o generador



**Fuente:** [http://ec.kalipedia.com/ecologia/tema/graficos-esquema-funcionamiento-alternador.html?x1=20070924klpcnafyq\\_125.Ees&x=20070924klpcnafyq\\_346.Kes](http://ec.kalipedia.com/ecologia/tema/graficos-esquema-funcionamiento-alternador.html?x1=20070924klpcnafyq_125.Ees&x=20070924klpcnafyq_346.Kes)

**3.9.1 Partes de un alternador [20].** Una máquina eléctrica rotativa está compuesta de los siguientes componentes:

- a) Un circuito magnético.
  - ✓ *Rotor*: Parte móvil que gira dentro del estator.
  - ✓ *Estator*: Parte fija.
  - ✓ *Entrehierro*: Espacio de aire que separa el estator del rotor y que permite que pueda existir movimiento. Debe ser lo más reducido posible.
- b) Dos circuitos eléctricos, uno en el rotor y otro en el estator.
- c) Arrollamiento o devanado de excitación o inductor.



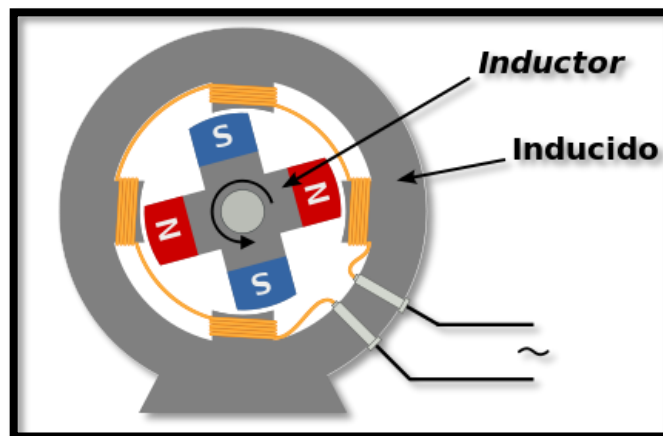
Uno de los devanados, al ser recorrido por una corriente eléctrica produce una fuerza magneto-motriz creando un campo magnético. El rotor, que en estas máquinas coincide con el inductor, es el elemento giratorio del alternador, que recibe la fuerza mecánica de rotación.

*d) Inducido*

Es el otro devanado, en el que se induce una fuerza electromotriz.

**3.9.2 Características constructivas de un alternador [20].** Un alternador consta de dos partes fundamentales, el inductor que es el que crea el campo magnético y el inducido que es el conductor atravesado por las líneas de fuerza de dicho campo magnético.

**Figura 32.** Disposición de elementos en un alternador simple de excitación permanente con dos pares de polos.



**Fuente:**[http://cvonline.uaeh.edu.mx/Cursos/TecEduc/Intro\\_grupos\\_electrogenos/generador\\_de\\_ca\\_parte\\_1.html](http://cvonline.uaeh.edu.mx/Cursos/TecEduc/Intro_grupos_electrogenos/generador_de_ca_parte_1.html)

**3.9.2.1 Inductor[20].** El rotor, que en estas máquinas coincide con el inductor, es el elemento giratorio del alternador, que recibe la fuerza mecánica de rotación.

**3.9.2.2 Inducido [20].** El inducido o estator, es donde se encuentran una serie de pares de polos distribuidos de modo alterno.

**3.9.3 Alternadores síncronos.** El alternador síncrono es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica (en forma de rotación) en energía eléctrica. Su principio de funcionamiento consiste en la excitación de flujo en el rotor.

Su constitución se basa en un inductor (generalmente en el rotor), a flujo constante mediante bobinas inductoras de corriente continua o imanes permanentes y un inducido (generalmente en el estator), constituido por devanados de corriente alterna sinusoidal (generalmente trifásicos). Estos alternadores están equipados con un sistema de excitación asociado a un regulador de tensión para mantener un mismo valor de voltaje y frecuencia. El generador síncrono está compuesto principalmente de una parte móvil o rotor y de una parte fija o estator.

Las velocidades síncronas a las que debe girar el rotor del generador dependen del número de polos y de la frecuencia de la electricidad generada. Así de tiene para la generación eléctrica con una frecuencia estandarizada de 60 Hz, según el número de polos la velocidad angular síncrona será según indica la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Velocidades angulares síncronas del rotor de un generador en función de la frecuencia estandarizada y del número de polos.

N° de Polos	Frecuencia		N° de Polos	Frecuencia	
	50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 Hz
2	3000	3600	16	375	450
4	1500	1800	18	333	400
6	1000	1200	20	300	360
8	750	900	22	272	327
10	600	720	24	250	300
12	500	600	26	231	277
14	428	540	28	214	257

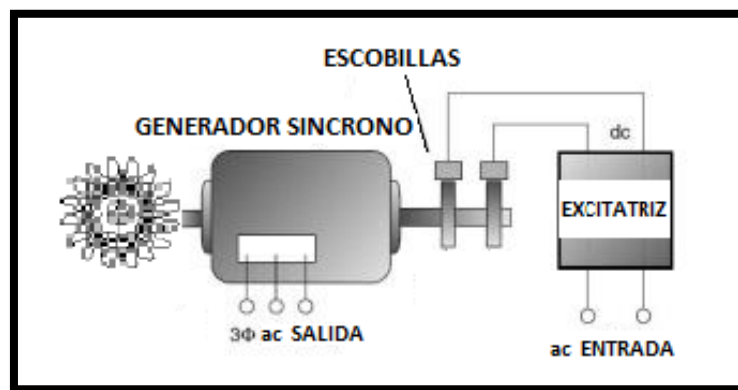
**Fuente:** ITDG. Manual de mini y microcentrales hidráulicas.

El rotor de un generador debe girar a la velocidad de sincronismo, la cual es controlada por la turbina.

El valor exacto del voltaje generado en el estator es controlado por la corriente de excitación en los bobinados del campo mientras que la frecuencia es controlada por la velocidad de giro de la máquina.

La potencia de generación del alternador es controlada por el par mecánico aplicado al eje del alternador de la turbina

**Figura 33.** Grupo de generación: Turbina, generador y excitatriz



**Fuente:** Autores

En la figura 33 tenemos un esquema de turbina hidráulica conectada mecánicamente a un generador eléctrico, el cual para ser de tipo síncrono debe tener un rotor bobinado para poder controlar el campo magnético de excitación que depende de la carga a través del torque electromagnético que es producto de su interacción con la carga.

La principal diferencia entre los diferentes tipos de generadores síncronos, se encuentra en su sistema de alimentación en continua para la fuente de excitación situada en el rotor.

- a) *Excitación Independiente:* Excitatriz independiente de continua que alimenta el rotor a través de un juego de anillos rozantes y escobillas.
- b) *Excitatriz principal y excitatriz piloto:* La máquina principal de continua tiene como bobinado de campo otra máquina de excitación independiente, accionada por el mismo eje.
- c) *Electrónica de potencia:* directamente, desde la salida trifásica del generador, se rectifica la señal mediante un rectificador controlado, y desde

el mismo se alimenta directamente en continua el rotor mediante un juego de contactores (anillos y escobillas).

- d) *Sin escobillas, o diodos giratorios:* la fuente de continua es un rectificador no controlado situado en el mismo rotor (dentro del mismo) alimentado en alterna por un generador situado también en el mismo eje y cuyo bobinado de campo es excitado desde un rectificador controlado que rectifica la señal generada por el giro de unos imanes permanentes situados en el mismo rotor (que constituyen la excitatriz piloto de alterna).
- e) *Excitación estática:* Consiste en que el devanado de campo del rotor es alimentado desde una fuente de alimentación a transformador y rectificadores que toma la tensión y corriente de salida del estator. El transformador, de tipo especial, posee dos devanados primarios, llamados de tensión e intensidad, que se pueden conectar en serie o en paralelo a los bornes de la salida del estator.

**3.9.4 Subestación eléctrica [20].** Una subestación eléctrica es una instalación proyectada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica con el objetivo de facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica, siendo su equipo principal el transformador.

Las subestaciones eléctricas elevadoras, situadas en las centrales generadoras de energía eléctrica, tienen la función de elevar el nivel de tensión, a valores como: 132, 220 ,400 kV o más, antes de entregar la energía a la red de transporte.

Las subestaciones eléctricas reductoras, reducen el nivel de tensión hasta valores que oscilan, habitualmente entre 13,2, 15, 20, 45 ó 66 kV y entregan la energía a la red de distribución. Posteriormente, los centros de transformación reducen los niveles de tensión hasta valores comerciales (baja tensión) aptos para el consumo doméstico e industrial, típicamente 380 V,220V, 120V.

Existen dos razones técnicas que explican por qué el transporte y la distribución en energía eléctrica se realizan a tensiones elevadas, y en consecuencia, por qué son necesarias las subestaciones eléctricas:

Las subestaciones eléctricas son importantes y necesarias debido a que las pérdidas de potencia que se producen en un conductor por el que circula una corriente eléctrica, son directamente proporcionales.

$$P = I^2 * R$$

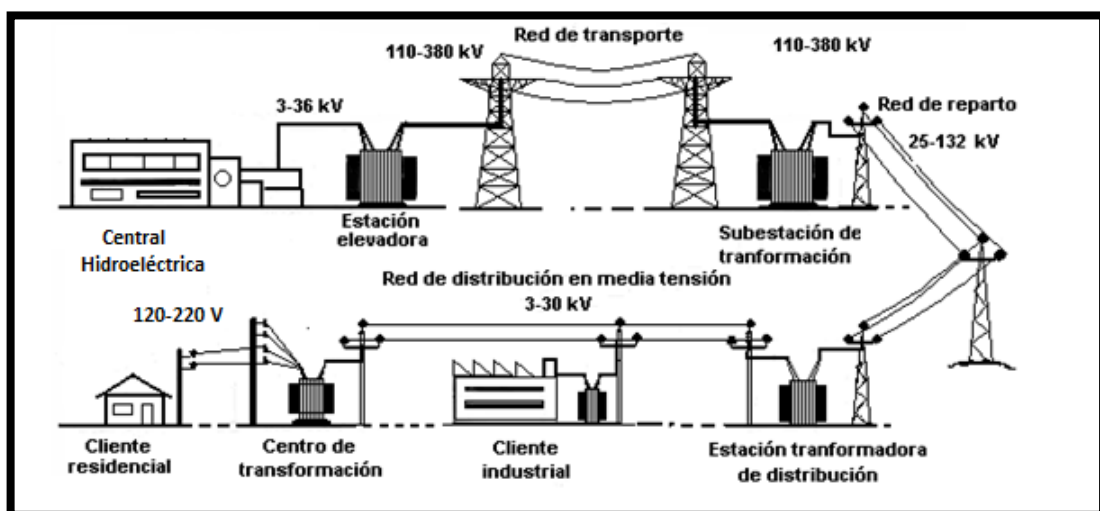
La potencia eléctrica transportada en una red es directamente proporcional al valor de su tensión y al de su intensidad.

$$P = V * I$$

En conclusión, cuanto mayor sea el valor de la tensión, menor deberá ser el valor de intensidad de corriente para transmitir la misma potencia y por ende sus pérdidas serán menores.

**3.9.5 Red de transporte de energía eléctrica [20].** Es la parte del sistema de suministro eléctrico constituida por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas.

**Figura 34.** Esquema de una red eléctrica.



**Fuente:** <http://www.termosolar.renovetec.com/descripcionesistemaselectricos.html>

Los niveles de energía eléctrica producidos deben ser transformados, elevando su nivel de tensión con este fin se reemplazan subestaciones elevadoras en las cuales dicha transformación se efectúa empleando transformadores o autotransformadores. De esta manera, una red de transmisión emplea usualmente voltajes del orden de 220 kV y superiores, denominados alta tensión, de 400 o de 500 kV. Parte principal de la red de transporte de energía eléctrica son las líneas de transporte.

Una línea de transporte de energía eléctrica o línea de alta tensión es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias.

Está constituida tanto por el elemento conductor, usualmente cables de acero, cobre o aluminio, se dice que los conductores "tienen vida propia" debido a que están sujetos a tracciones causadas por la combinación de varios agentes como el viento, la temperatura del conductor, la temperatura del viento, etc.

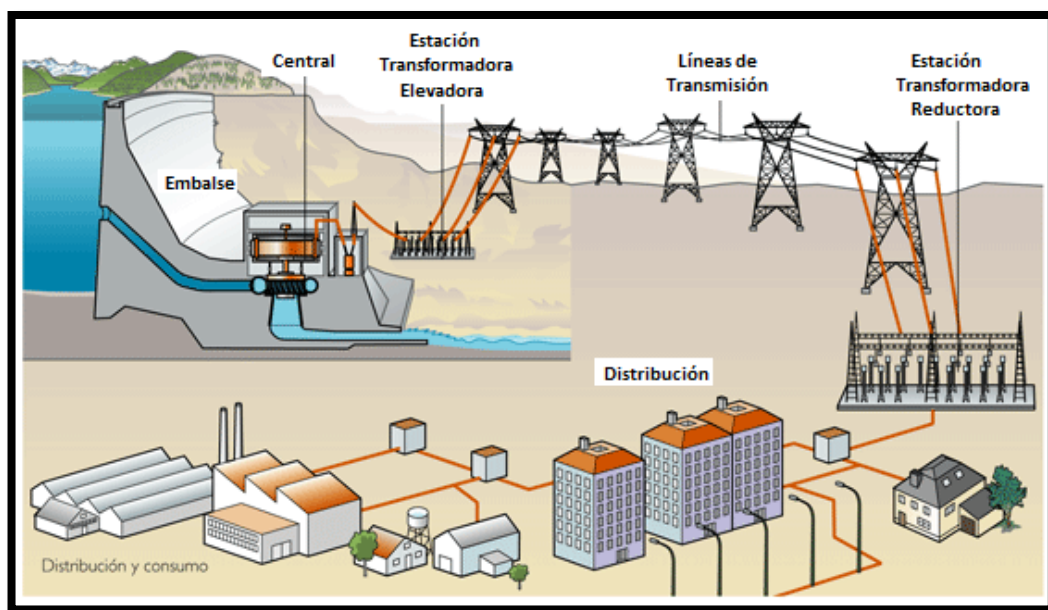
Existen torres de transmisión entre ellas las más importantes y más usadas son las torres de retención, la cual debe ser mucho más fuerte para soportar las grandes tracciones generadas usadas generalmente cuando es necesario dar un giro con un ángulo determinado para cruzar carreteras, evitar obstáculos, así como también cuando es necesario elevar la línea para subir un cerro o pasar por debajo/encima de una línea existente.

Existen también las llamadas torres de suspensión, las cuales no deben soportar peso alguno más que el del propio conductor. Este tipo de torres son usadas para llevar al conductor de un sitio a otro, tomando en cuenta que sea una línea recta, que no se encuentren cruces de líneas u obstáculos.

### 3.9.6 Red de distribución de la energía eléctrica o sistema de distribución de energía eléctrica [20]

Es la parte final del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales.

**Figura 35.** Red de distribución de la energía eléctrica o sistema de distribución de energía eléctrica



**Fuente:** <http://harolsanchez34.blogspot.com/2012/11/ensayo-300-palabras-red-de-distribucion.html>

Los elementos que conforman la red o sistema de distribución son los siguientes:

- ✓ *Subestación de Distribución:* Es el conjunto de elementos (transformadores, interruptores, seccionadores) cuya función es reducir los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión (o su transmisión) hasta niveles de media tensión para su ramificación en múltiples salidas.
- ✓ *Circuito Primario.*
- ✓ *Circuito Secundario.*

La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas.

- ✓ La primera etapa está constituida por las subestaciones de transformación, que reparten energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, y llega a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 25 y 132 kV.
  
- ✓ La segunda etapa la constituye la red de distribución, con tensiones de funcionamiento de 3 a 30 kV. En esta etapa las estaciones transformadoras de distribución se unen con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión (120-220 ó 220-380 V).



## **CAPÍTULO IV**

### **4. ESTUDIO DE INGENIERÍA BÁSICA**

#### **4.1 Parámetros del proyecto**

El principio de una central hidroeléctrica es aprovechar la energía potencial la cual se transforma en energía cinética, ésta en mecánica y está en eléctrica, con el propósito de tener una buena cantidad de energía potencial requiriendo para ello una buena caída de agua.

Para realizar un estudio e investigación en este tipo de proyecto la información que está disponible al alcance es muy escasa e incluso inexistente, razón por la cual es necesario realizar el estudio de campo que permita obtener los datos necesarios para conocer la caída o cabeza de agua y así poder determinar el potencial hidroenergético de la fuente que además con la ayuda de las herramientas y equipos existentes en la actualidad se hace más fácil el estudio y permiten lograr las máximas eficiencias en el sistema.

#### **4.2 Topografía**

Para el estudio topográfico como se mencionó anteriormente se deben hacer visitas de campo para el respectivo reconocimiento visual además con éstas visitas se determinan las posibles alternativas y puntos tentativos para las obras civiles del sistema.

La Topografía ofrece la oportunidad de acceder a esta información con un esfuerzo previo como lo es el estudio topográfico y cartográfico que se encarga de plasmar sobre planos y gráficos las características e irregularidades del terreno.

#### **4.3 Objetivos**

Los objetivos en esta parte del estudio son básicamente los siguientes:

- Recopilar información básica de la zona del proyecto
- Realizar visitas de campo para el reconocimiento total de la zona.

- Realizar un levantamiento topográfico
- Determinar la altura bruta o cabeza de agua para el proyecto

#### **4.4 Puntos de enlace GPS**

En los puntos de enlace se debe realizar una planimetría y una altimetría de forma conjunta para determinar las tres coordenadas de puntos en el espacio y plasmarlas en un plano topográfico donde se ubiquen las coordenadas de los puntos más relevantes del terreno a explorar. La altura estará representada en el plano mediante las curvas de nivel.

Luego de hacer una visita de campo se determinan las tareas a realizar, los tiempos necesarios y se elabora un plan de trabajo apropiado para obtener los mejores resultados.

Mediante el uso del nivel y teodolito se determinan las estaciones adyacentes midiendo las distancias entre ellas y el rumbo desde la estación base. Se debe tener muy en cuenta la instalación de los equipos, puesto que pueden generar errores de excentricidad.

Conocidos estos datos es fácil determinar las coordenadas de cualquier punto o estación. A lo largo de las mediciones se ubican puntos permanentes en caso de que las señales se pierdan o por alguna razón se destruyan y además se elabora manualmente un croquis para establecer las tareas posteriores.

Se elabora una poligonal abierta a lo largo del río, ubicando las estaciones adyacentes en los lugares donde se requiera resaltar sobre todo tratando de que las estaciones sean visibles entre sí. Las coordenadas de las estaciones determinadas a lo largo del río Puela se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Registro de los puntos de las estaciones

<b>Nº</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altura</b>
1	9831182,912	783009,631	2627,559
2	9831242,327	783027,721	2622,772
3	9831242,402	783027,546	2623,169
4	9831249,218	783039,525	2621,518
5	9831196,222	783018,703	2623,571
6	9831205,289	783022,366	2623,967
7	9831210,789	783023,359	2623,418
8	9831265,413	783053,814	2618,942
9	9831210,626	783012,436	2627,179
10	9831502,808	783005,500	2761,771
11	9831548,950	783008,855	2759,501
12	98831559,278	783010,999	2759,803
13	9831587667	783017,553	2760,066
14	9831754,959	783016,307	2763,012
15	9832089,549	783044,479	2791,792
16	9832183,516	783036,703	2790,929
17	9832191,469	783022,771	2796,531
18	9832690,379	782905,066	2772,084
19	9832711,741	782883,264	2754,677
20	9832725,733	782861,008	2736,974
21	9832731,592	782842,974	2730,228
22	9832740,744	782835,093	2726,954
23	9832778,630	782804,723	2685,519
24	9832788,024	782789,128	2671,614
25	9832830,090	782580,321	2624,946
26	9832828,853	782686,359	2625,763
27	9833154,984	782176,835	2625,464
28	9833152,473	782014,211	2624,567
29	9833242,461	781699,511	2462,124

**Fuente:** Autores

Las estaciones se ubican en lugares relevantes del río dándole forma. Luego de esto con ayuda del GPS se determinan las coordenadas para trazar las curvas de nivel en el mapa topográfico. Las curvas se elaboran con una equidistancia de 40 m [131.2 ft], es decir cada curva representará una misma cota de nivel y estarán separadas verticalmente 40 metros a partir de la estación base.

Luego de obtener las coordenadas de los vértices de la poligonal se procede a elaborar un croquis de referencia para visualizar la forma de la poligonal y tener una mejor visión del trabajo que se está realizando. Además en este se ubicarán otros puntos importantes de referencia como son: caminos, viviendas, ríos, quebradas y cualquier otro elemento identificable en el terreno a cartografiar.

#### **4.5 Levantamiento topográfico**

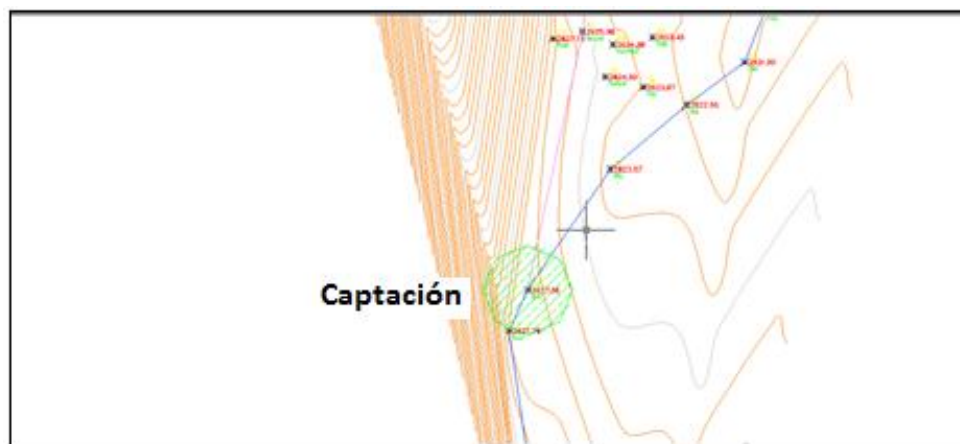
Posteriormente luego de las respectivas visitas de campo se procede a tabular toda la información y datos que se determinaron con la ayuda de los equipos se procede a elaborar el plano topográfico de la zona en donde están representados los datos más importantes del trabajo y sobre todo es el que nos ayudará a estimar las ubicaciones de cada elemento del sistema como son: Captación, Tanque de presión, casa de máquinas. Principalmente nos ayudará a determinar la real altura neta o salto con el que se diseñará la central.

Se procede con la determinación de sus tolerancias y cálculo de errores en los datos de las mediciones, si estos valores son satisfactorios se corrigen los datos para proceder a calcular las coordenadas X, Y, Z de cada punto y/o estación. Para esto se calcula las distancias entre puntos mediante sistemas de referencia relativos.

Luego de haber calculado las coordenadas de cada punto se procede al delineamiento automático digital utilizando programas informáticos de dibujo asistido (CAD). Los datos son tabulados en bases de datos que el computador utiliza para ubicar los puntos en su sistema de referencia y generar las diversas curvas de nivel.

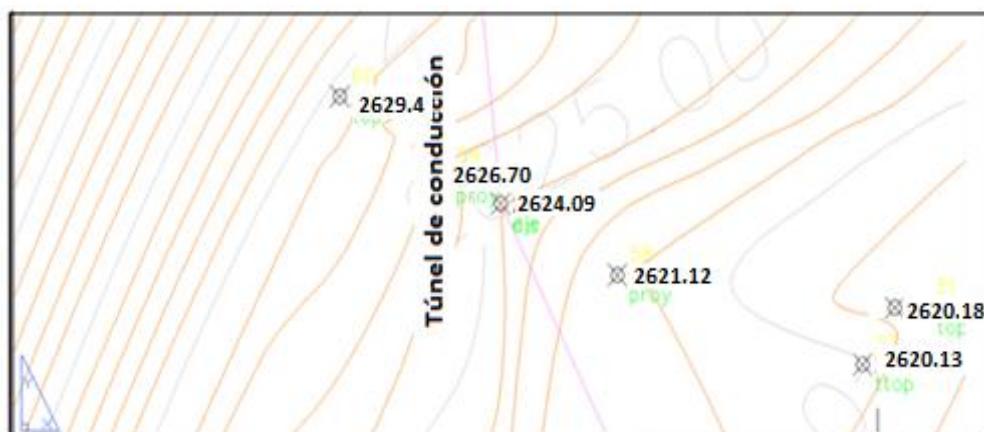
Al final de este proceso se obtiene un plano topográfico de la zona en el que se representan las características del terreno necesarias para continuar con el estudio. A continuación se ilustra las zonas respectivas del proyecto en su orden de diseño:

**Figura 36.** Levantamiento topográfico de la zona de captación.



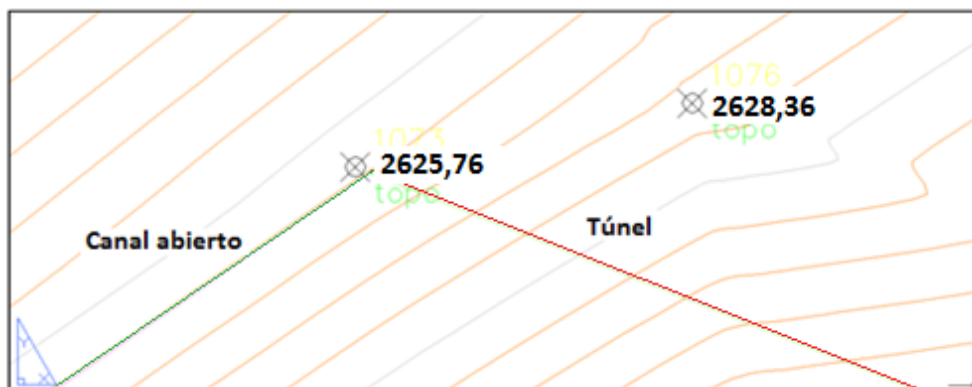
**Fuente:** Estudio planimétrico de la zona de influencia (Anexo D)

**Figura 37.** Levantamiento topográfico de la zona de túnel de conducción



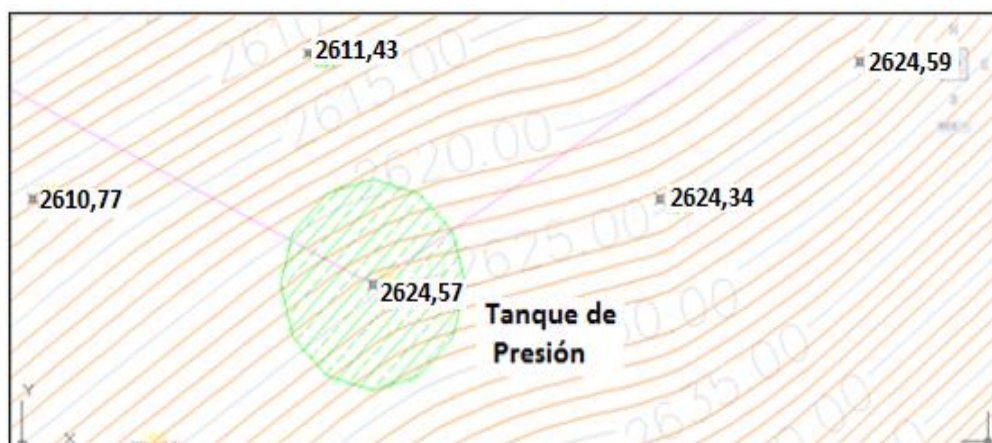
**Fuente:** Estudio planimétrico de la zona de influencia (Anexo D)

**Figura 38.** Levantamiento topográfico de la zona del cambio de conducción de túnel a canal abierto



**Fuente:** Estudio planimétrico de la zona de influencia (Anexo D)

**Figura 39.** Levantamiento topográfico de la zona del tanque de presión



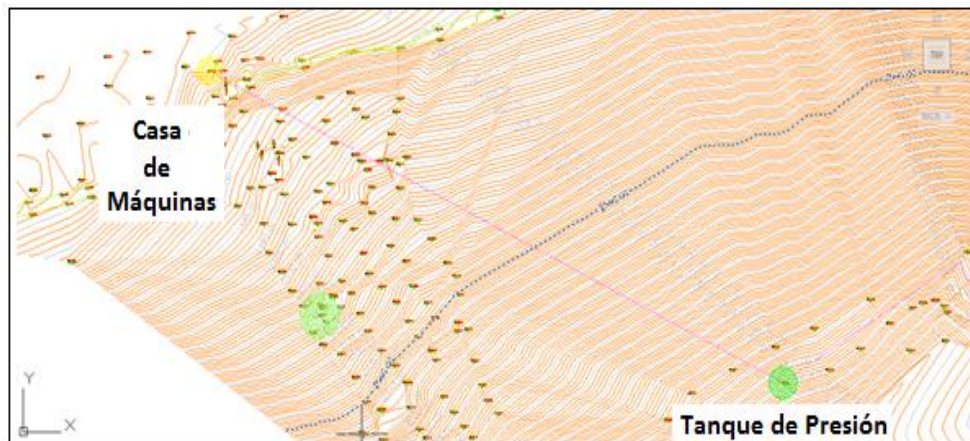
**Fuente:** Estudio planimétrico de la zona de influencia (Anexo D)

#### 4.6 Determinación de altura bruta

Gracias a la ayuda del plano topográfico se estableció que una buena alternativa sería captar el agua mediante una bocatoma lateral ubicada en las coordenadas :9831182,912 de latitud y 78 3009,631 de longitud en unidades UTM de aquí el agua será conducida mediante túnel hasta el punto cuyas coordenadas son : 9832828,853 de latitud y 782686,359 de longitud seguido a éste túnel va canal abierto hasta llegar al tanque de presión cuyas coordenadas son: 9833152,473 de latitud y 782014,211de longitud

,finalmente la casa de máquinas está ubicado en la posición 9833242,,461 de latitud y 781699,511 de longitud . Todo esto está representado en el plano.

**Figura 40.** Vista completa del levantamiento topográfico de la descarga



**Fuente:** Estudio planimétrico de la zona de influencia (Anexo D)

Los puntos más importantes que representan la línea del túnel de conducción están ubicados en las coordenadas mostradas en la siguiente tabla:

**Tabla 5.** Puntos que conforman la obra de conducción de la central

Nº	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
1	9831182,912	783009,631	2627,559
2	9831242,327	783027,721	2622,772
3	9831242,402	783027,546	2623,169
4	9831249,218	783039,525	2621,518
5	9831196,222	783018,703	2623,571
6	9831205,289	783022,366	2623,967
7	9831210,789	783023,359	2623,418
8	9831265,413	783053,814	2618,942
9	9831210,626	783012,436	2627,179
10	9831502,808	783005,500	2761,771
11	9831548,950	783008,855	2759,501
12	98831559,278	783010,999	2759,803
13	9831587667	783017,553	2760,066
14	9831754,959	783016,307	2763,012

15	9832089,549	783044,479	2791,792
16	9832183,516	783036,703	2790,929
17	9832191,469	783022,771	2796,531
18	9832690,379	782905,066	2772,084
19	9832711,741	782883,264	2754,677
20	9832725,733	782861,008	2736,974
21	9832731,592	782842,974	2730,228
22	9832740,744	782835,093	2726,954
23	9832778,630	782804,723	2685,519
24	9832788,024	782789,128	2671,614
25	9832830,090	782580,321	2624,946
26	9832828,853	782686,359	2625,763

**Fuente:** Autores

#### **4.7 Hidrología**

La hidrología tiene un papel muy importante en el planeamiento del uso de los recursos hidráulicos, a través de ella, se puede determinar la cantidad de agua que escurre un río a lo largo del año. A pesar de que puede presentar muchas variaciones debidas a las condiciones propias de la cuenca, tales como: cambios climáticos, topografía del terreno, área de la cuenca y las características geológicas de la cuenca.

Las mediciones ocasionales del caudal son referencias importantes que deben tomarse en cuenta, pero por sí solas no son suficientes para informarnos si el año será muy seco o muy lluvioso, o a qué niveles de caudal puede bajar el río en época de estiaje y hasta qué niveles podría subir en tiempo de avenidas.

Los estudios hidrológicos son fundamentales para el diseño de obras hidráulicas, pero debido a que la hidrología no es una ciencia exacta, por lo general las respuestas se dan en forma probabilística de ocurrencia. Donde frecuentemente los modelos matemáticos representan el comportamiento de la cuenca.

#### **4.8 Climatología**

El sector de El Altar se caracteriza por una gran presencia de condiciones climáticas la existencia del volcán Tungurahua a muy pocos metros hace que exista una variedad de nubosidades ocasionando pequeñas precipitaciones durante el verano, el proceso



eruptivo del volcán ha provocado derrumbes de terreno en ciertos sectores pero que no afectan a la zona del proyecto .En épocas de invierno las lluvias suben en gran magnitud el cauce del Río Puela provocando grandes avenidas de caudal.

La temperatura de la zona oscila entre 10°C y 18°C, debido a que recibe vientos dominantes y corrientes lluviosas provenientes de la Amazonía, lo que influye notablemente sobre el paisaje y la agricultura.

Además, las precipitaciones regulares anuales (entre 500 y 1000 mm) son aprovechadas para el desarrollo agrícola, base de la economía local.

#### **4.9 Características de escurrimiento y red hidrológica**

En lo que comprende a la zona de la cuenca del Río Puela , solo se aprecian una importante afluente Río Quinuaquiro, además existe la presencia de quebradas que convergen hacia el Río Puela como son : Quebrada Curiquin, Quebrada Pijimpamba, Quebrada El Niche ,Quebrada Carbonero o Quebrada El Tambo y la Quebrada Bramadora.

El río Puela posee una distribución longitudinal casi homogénea variando en pocos grados su dirección y cambiando de pendiente bruscamente en algunas zonas, en la mayor parte de su longitud las riberas del río están cubiertas de espesa vegetación formando grandes pendientes.

Gracias a la distribución del río sobre el área de la cuenca y a su gran pendiente que posee, en épocas de lluvia los caudales de avenida son muy fuertes, provocando acarreo de escombros y vegetación aledaña incluso de rocas grandes.

#### **4.10 Caudales máximos, mínimos y promedio**

Para tener una mejor apreciación de los caudales del río nos ayudamos de varios datos tabulados en lo que se refiere a caudales del Río Puela en los últimos años.

Con estos datos tabulados se realiza un histograma el mismo que es una gran herramienta que permite representar gráficamente el comportamiento del conjunto de datos de caudal en cuanto a su tendencia central, forma y dispersión.

Con base al número de datos tabulados existe una cantidad de  $N_{\text{REGISTROS}}=516$ , entonces se establece el intervalo específico para el cálculo de la curva de caudales, para ello se procede con el siguiente procedimiento:

1.- Se calcula el número de clase con la siguiente ecuación tomada de la referencia [4].

$$N_c = 1 + 3.3 \ln(N_{\text{registros}})$$

$$N_c = 1 + 3.3 \ln(516) = 21.61$$

2.-Se determinan los caudales máximo y mínimo:

$$Q_{\text{máx}}=X_{\text{máx}}=22.87$$

$$Q_{\text{mín}}=X_{\text{mín}}=10,34$$

3.- El intervalo  $[\Delta x]$ , se calcula con base en la siguiente expresión:

$$\Delta x = \frac{X_{\text{máx}}-X_{\text{mín}}}{N_c-1} = \frac{22.7-10,34}{21.61-1} = \frac{12.53}{20,61} = 0.61$$

Para realizar dicho procedimiento es necesario contar con un registro histórico de los caudales del río a estudiar.

Para nuestro estudio hay que realizar una valoración adecuada acerca del caudal para el diseño del río Puela ,para ello en la tabla 6 se puede apreciar una serie de caudales mensuales de dicho río con antecedentes de hace algunos años.

**Tabla 6.** Registro de los caudales mensuales del Río Puela

Año	Enero	Febr	Mar	Abri	May	Juní	Julio	Ago	Septi	Oct	Nov	Dicie
<b>63</b>	12,02	15,25	20,5	21,87	20,64	19,32	17,93	12,43	13,54	15,98	14,44	12,34
<b>64</b>	11,67	15,22	20,65	21,56	20,51	22,57	17,98	12,54	13,45	15,56	14,23	13,65
<b>65</b>	12,54	15,35	19,75	20,89	21,34	21,76	16,04	12,56	14,32	16,05	14,63	12,51
<b>66</b>	11,78	15,27	20,82	21,85	20,67	21,49	10,21	11,87	13,21	16,44	15,62	12,38
<b>67</b>	11,54	15,37	20,54	22,85	21,03	20,11	18,67	11,78	13,46	15,34	14,45	13,23
<b>68</b>	10,78	14,96	21,92	21,95	21,05	22,41	17,98	11,65	13,56	15,45	10,86	13,34
<b>69</b>	12,32	15,63	20,86	21,54	20,67	21,92	16,56	12,87	14,07	14,67	14,34	14,47
<b>70</b>	11,29	15,76	20,41	21,54	22,56	21,38	16,78	11,65	13,64	15,76	13,46	12,86
<b>71</b>	11,91	15,45	20,34	22,45	21,54	21,89	17,08	12,65	13,32	15,43	16,24	12,04
<b>72</b>	11,81	15,38	20,45	21,45	21,67	20,64	10,98	11,54	13,54	15,89	15,45	14,39
<b>73</b>	10,34	15,36	20,38	22,31	20,34	20,67	15,56	12,45	12,46	15,67	15,42	13,85
<b>74</b>	12,35	15,93	20,89	21,64	20,45	20,67	16,04	11,32	14,23	14,98	10,01	14,67
<b>75</b>	11,28	15,48	20,64	22,51	21,38	21,31	18,34	10,67	13,45	15,56	14,62	13,62

76	12,03	10,46	20,67	21,84	21,89	21,32	17,98	12,43	13,53	15,78	14,67	13,48
77	10,07	15,03	20,67	21,67	20,64	22,05	16,56	12,67	14,78	15,08	14,21	10,46
78	10,83	15,46	19,89	22,73	20,67	19,09	16,93	11,32	13,87	16,98	15,35	13,03
79	11,75	15,75	20,98	21,45	20,67	21,43	15,76	12,56	13,89	15,86	14,73	10,64
80	11,6	15,05	21,98	21,67	21,39	20,65	17,43	12,59	13,55	14,99	14,72	14,67
81	11,67	15,45	20,67	22,56	20,98	21,32	17,44	11,99	10,95	16,83	13,87	13,91
82	10,64	15,89	20,87	22,54	20,67	20,25	18,98	12,38	15,43	15,76	14,34	12,64
83	10,64	15,45	21,78	21,67	21,34	19,65	18,42	13,78	14,78	14,98	15,82	12,67
84	11,45	14,57	21,53	21,78	20,32	21,67	19,61	14,34	12,67	13,48	15,45	10,77
85	11,82	15,27	20,85	20,43	22,67	21,13	20,02	12,87	14,91	14,67	13,05	15,53
86	10,69	15,35	20,92	21,34	21,76	20,32	19,99	13,81	13,67	16,62	14,45	14,02
87	11,95	15,27	21,01	22,71	21,69	21,43	17,45	14,86	13,92	15,97	15,89	13,54
88	11,72	15,47	20,34	20,67	20,11	20,43	17,56	12,93	13,65	15,45	15,45	10,37
89	10,78	15,46	19,79	21,83	21,41	19,54	16,43	11,98	12,61	15,56	14,87	13,78
90	11,67	15,46	20,68	21,86	21,92	21,67	18,62	12,87	13,91	14,93	14,87	13,41
91	11,89	15,78	21,23	21,34	21,35	21,87	19,81	11,67	13,26	15,92	15,65	14,66
92	11,46	15,79	20,41	21,56	20,46	21,78	17,04	10,89	12,99	16,83	16,87	13,93
93	11,95	14,79	21,65	22,31	22,36	22,03	18,45	12,91	12,85	15,43	16,27	14,49
94	11,82	14,87	20,31	22,84	21,24	19,85	18,91	13,76	13,96	16,73	15,46	13,51
95	12,71	14,36	19,65	21,56	22,70	20,92	18,41	13,91	12,83	15,35	15,84	10,61
96	10,49	15,45	20,43	22,34	21,45	21,01	16,74	11,97	12,82	16,19	15,32	12,09
97	11,83	15,34	20,65	21,23	20,56	20,34	17,45	13,66	13,76	15,84	14,92	13,72
98	11,63	15,22	19,32	21,56	22,54	19,99	17,87	14,92	12,95	16,31	10,82	13,24
99	11,85	15,45	20,25	21,78	21,35	20,68	16,45	12,74	10,82	15,49	14,81	12,36
0	11,21	15,04	19,45	22,35	21,13	19,23	18,53	12,85	13,86	14,94	15,32	13,32
1	11,81	15,25	20,67	22,63	20,61	22,87	19,32	12,85	13,84	16,47	14,81	12,78
2	11,98	15,37	19,13	21,82	20,43	20,56	17,81	12,82	12,82	15,89	14,34	13,41
3	11,86	15,48	20,32	21,88	21,61	19,78	17,72	10,91	12,31	15,88	13,65	12,03
4	11,87	15,35	20,43	22,31	22,52	20,95	18,21	13,87	13,52	14,98	14,55	13,16
5	11,61	15,35	20,23	22,46	21,92	21,56	18,71	13,91	12,87	15,88	15,92	13,04

**Fuente:** Autores

Posteriormente se debe elaborar una tabla con datos estadísticos que muestren la frecuencia con que ocurren los caudales y la permanencia de tiempo que tienen, para ello se calculan los valores de frecuencias relativas , porcentajes de tiempo y se tabulan a continuación:

**Tabla 7.** Frecuencias absolutas y duración de caudales

Nº	Lim inf	Lim Sup	Q m	Frecuencia absoluta	Frecuencia Acumulada	fr	Duración
1	23,15	23,76	23,5	4	4	0,775	0,775
2	22,54	23,15	22,8	6	10	1,163	1,938
3	21,93	22,54	22,2	8	18	1,550	3,488
4	21,32	21,93	21,6	18	36	3,488	6,977
5	20,71	21,32	21,0	19	55	3,682	10,659
6	20,1	20,71	20,4	21	76	4,070	14,729
7	19,49	20,10	19,8	12	88	2,326	17,054
8	18,88	19,49	19,2	15	103	2,907	19,961
9	18,27	18,88	18,6	18	121	3,488	23,450
10	17,66	18,27	18,0	17	138	3,295	26,744
11	17,05	17,66	17,4	25	163	4,845	31,589
12	16,44	17,05	16,7	22	185	4,264	35,853
13	15,83	16,44	16,1	31	216	6,008	41,860
14	15,22	15,83	15,5	21	237	4,070	45,930
15	14,61	15,22	14,9	23	260	4,457	50,388
16	14	14,61	14,3	30	290	5,814	56,202
17	13,39	14,00	13,7	23	313	4,457	60,659
18	12,78	13,39	13,1	33	346	6,395	67,054
19	12,17	12,78	12,5	36	382	6,977	74,031
20	11,56	12,17	11,9	43	425	8,333	82,364
21	10,95	11,56	11,3	52	477	10,078	92,442
22	10,34	10,95	10,6	39	516	7,558	100,000

**Fuente:** Autores

La tabla 7 se elaboró de la siguiente forma, en las columnas Linf y Lsup están ubicados en orden descendente los rangos de caudales en los cuales se evaluó en la tabla 6. En la columna Qm está calculado el caudal medio de cada rango que es calculado como la sumatoria de dos caudales dividido para dos. En la columna Frecuencia Absoluta están tabulados la cantidad de caudales de la tabla 6 que se encuentran en el rango correspondiente. La suma total de esta columna debe representar el total de muestras que es  $n = 516$  datos.

La columna fr % (Frecuencia Relativa) representa el porcentaje de probabilidad de que ocurra un determinado caudal, para el cálculo de la frecuencia relativa de cada rango se divide el número de ocurrencias entre el número total de aforos con la siguiente fórmula tomada de la referencia [3]:

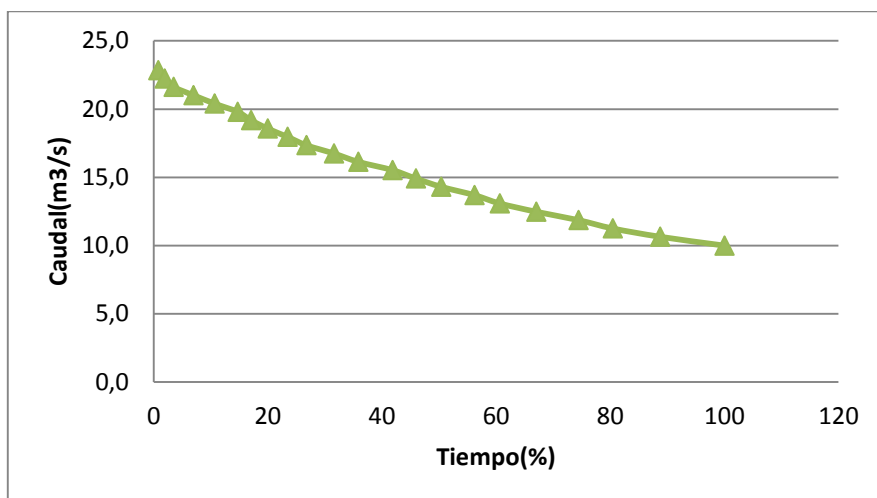
$$fr = \left( \frac{F}{n} \right) * 100$$

La columna duración, representa el porcentaje de tiempo que dura un caudal dentro del rango específico durante el año o en el período evaluado. El cálculo para esta columna es con la siguiente fórmula tomada de la referencia [3]:

$$Duración_n = \sum_{i=1}^n F_i$$

Posteriormente se procede a graficar estos datos tabulados y por consiguiente se obtiene la curva de duración de caudales en base a los datos de la tabla 6.

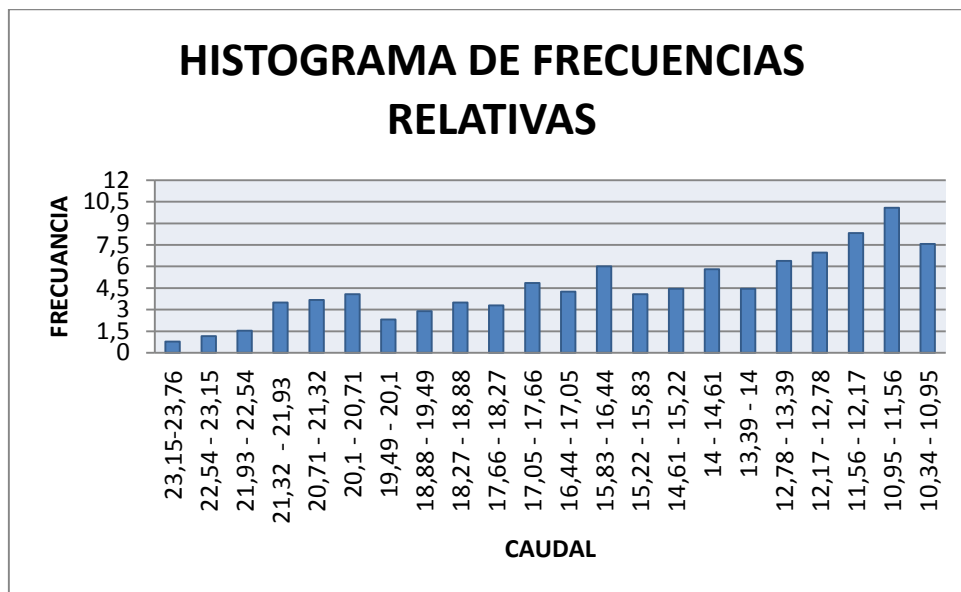
**Figura 41.** Curva de duración de caudales



**Fuente:** Autores

En la tabla 7 se puede observar que en el rango de 10,95 – 11,56 m³/s posee un porcentaje del 92,44% esto significa que el porcentaje de probabilidad de que ocurra este rango de caudales es de casi el 100 % de probabilidad siendo un caudal aceptable para este diseño. En el histograma de frecuencias relativas se puede decir que el rango que predomina en esta gama de caudales es el rango de 10,95 y 11,56 siendo éste rango de caudales el de mayor persistencia, de acuerdo con esta curva de duración de caudales es imprescindible que la central trabaje el 100% de tiempo a plena carga por ende el caudal para nuestro diseño se encuentra entre éstos caudales.

**Figura 42.** Histograma de frecuencias relativas



**Fuente:** Autores

En la tabla se puede apreciar las diferentes potencias posibles de obtener según diferentes valores de caudal de diseño y a la vez el periodo que el equipo estará funcionando a plena carga. Si multiplicamos potencia por duración obtendremos la energía total generada al año para los diferentes caudales de diseño.

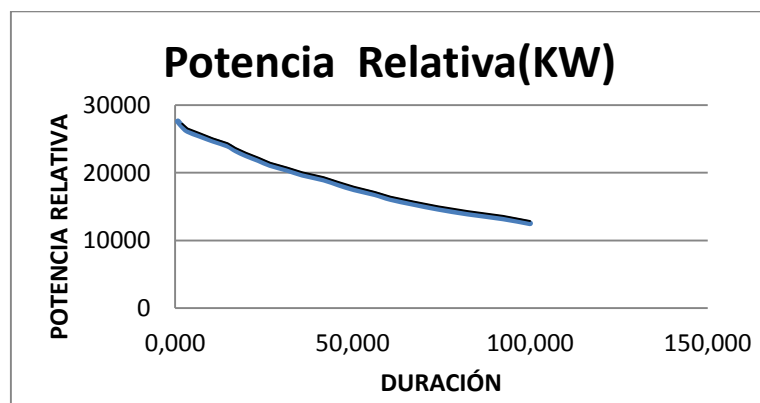
**Tabla 8.** Análisis energético.

Nº	Lim inf	Lim Sup	Q m	P Relativa (KW)	ENERGIA (Kwh/año)	Duración
1	23,15	23,76	23,5	27611,226	1874994,886	0,775
2	22,54	23,15	22,8	26893,134	4566071,649	1,938
3	21,93	22,54	22,2	26175,042	7998197,044	3,488
4	21,32	21,93	21,6	25456,95	15557113,23	6,976
5	20,71	21,32	21,0	24738,858	23097627,16	10,658

6	20,1	20,71	20,4	24020,766	30991346,73	14,728
7	19,49	20,1	19,8	23302,674	34812968,7	17,054
8	18,88	19,49	19,2	22584,582	39491413,11	19,961
9	18,27	18,88	18,6	21866,49	44917036,81	23,449
10	17,66	18,27	18,0	21148,398	49546284,47	26,744
11	17,05	17,66	17,4	20430,306	56535016,06	31,589
12	16,44	17,05	16,7	19712,214	61910934,6	35,853
13	15,83	16,44	16,1	18994,122	69652216,1	41,861
14	15,22	15,83	15,5	18276,03	73534933,12	45,931
15	14,61	15,22	14,9	17557,938	77500839,76	50,388
16	14	14,61	14,3	16839,846	82907818,87	56,202
17	13,39	14	13,7	16121,754	85666895,78	60,659
18	12,78	13,39	13,1	15403,662	90480300	67,054
19	12,17	12,78	12,5	14685,57	95237868,42	74,031
20	11,56	12,17	11,9	13967,478	100776797,7	82,364
21	10,95	11,56	11,3	13249,386	107292682,2	92,442
22	10,34	10,95	10,6	12531,294	109774348,2	100,000

**Fuente:** Autores

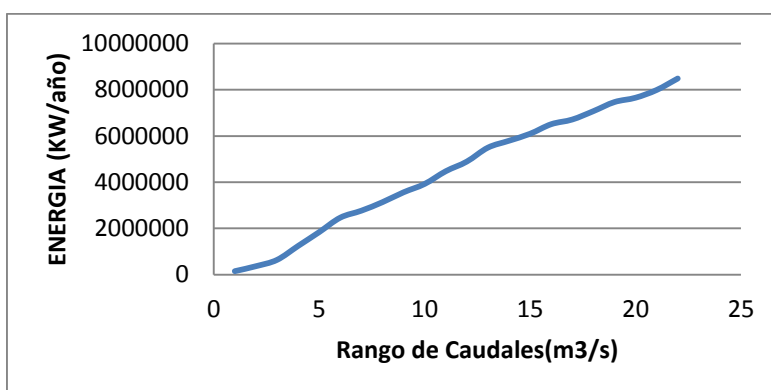
**Figura 43.** Curva de duración de potencias



**Fuente:** Autores



**Figura 44.** Producción anual de energía.



**Fuente:** Autores

#### 4.11 Caudal de diseño

El propósito e interés primordial de este proyecto es proveer de energía a toda la zona de la parroquia El Altar y además proveer a zonas aledañas que carecen de energía requiriendo una máxima producción para cubrir estas necesidades.

La central va a estar interconectada es decir tendrá acceso al Sistema Nacional Interconectado, por tal motivo lo ideal sería que la central funcione el mayor tiempo posible a plena carga.

Los valores de caudales 23,15 -23,76 m³/s aun cuando son los mayores en generar grandes potencias son los que menos duran, los caudales entre 18,27 y 18,885 generar potencias considerables pero su duración es aún menor al 50%.

Para nuestro diseño se decidió tomar un caudal de diseño de 11,35 m³/s con una duración del 92% pero se deberá tomar en consideración que a este caudal se le debe restar un caudal ecológico (10% del caudal promedio anual que es 1,6 m³/s).Entonces el caudal final de diseño es 9,75 m³/s.

#### 4.12 Geología y geotecnia

El desarrollo del proyecto debe tener un conocimiento primordial en lo que se refiere conocer el tipo de terreno en donde se va a instalar las obras de la central hidroeléctrica. El proyecto consta de una bocatoma que sin tener un conocimiento del suelo podría provocar graves perjuicios e incluso accidentes, desde la pérdida de la inversión hasta graves inundaciones por obstrucciones, deslaves de riveras.

Imaginemos una estructura de conducción construida en las faldas de una pendiente cuyo suelo es demasiado blando, si llegase a fallar, tendríamos graves problemas de desbordamiento de agua que su poder destructivo es directamente proporcional al caudal que circula. De ahí que el estudio del terreno adquiere su importancia.

#### **4.13 Impacto ambiental**

El compromiso adoptado por la Unión Europea acerca de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> es únicamente alcanzable si se alteran las políticas energéticas en lo referente a las energías renovables y el incremento de las eficiencias energéticas.

En lo referente al empleo de la energía hidráulica de carácter renovable, el Plan de Energías Renovables, del que se ha hablado con anterioridad en este proyecto, fija unos objetivos para el año 2010. Conseguir estos objetivos tendría como consecuencia una disminución de los combustibles fósiles en un 10% y dejar de emitir por ello 180 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

Los principales obstáculos que se encuentra la energía hidroeléctrica son de tipo administrativo, dado que se trata de una tecnología sumamente madura, y concretamente problemas de tipo medioambiental.

Para construir una central hidráulica, si bien produce un impacto mínimo en el medio ambiente, existen una serie de factores que deben ser tenidos en cuenta, dado que normalmente se construyen en zonas muy sensibles. Las diferentes causas de impacto ambiental deberán ser identificadas y resueltas antes de la ejecución de una obra de estas características.

#### **4.14 Identificación y evaluación de impactos**

Es muy recomendable que cualquier persona que elabore proyectos relacionados al sector eléctrico debe tomar en cuenta la forma en que las actividades propias a realizar durante todas las etapas del proyecto inciden sobre el entorno. Existen muchas formas de agresión o impactos que se pueden dar, entre las más importantes están:

- Emisiones a la atmósfera
- Niveles de Ruido.
- Descarga al agua de ríos y vertientes.

- Contaminación del suelo.
- Desechos sólidos.
- Químicos de uso agrícola prohibidos.
- Almacenamiento, transporte y comercialización de derivados de petróleo.

Fuera de estos pueden existir otros parámetros que los municipios o gobiernos seccionales consideren necesarios tomar en cuenta. Todas estas formas de impacto tienen establecidos en la ley límites permisibles de presencia o contaminación, por ejemplo para el caso de las emisiones a la atmósfera se establecen ciertos valores máximos de partículas por millón (ppm) de cada uno de los gases o polvos considerados perjudiciales o tóxicos para el entorno natural.

En el Registro Oficial existen una serie de decretos y normas en las que se detallan los valores permisibles. El artículo 15 del Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas detalla para cada forma de impacto los respectivos reglamentos del registro oficial al que se debe remitir. En lo que tiene que ver con este proyecto se deben considerar algunos puntos como son:

- Estará ubicado en una zona de rica vegetación, muy densa en ciertas partes, por lo que se estima que la calidad del aire es excelente.
- La calidad del agua del río Puela es muy buena y solo se ve afectada por crecientes repentinas durante la época de invierno.

Los lugareños se dedican, en la mayoría de su tiempo, a labores agrícolas.

Debiendo así tener un cuidado adecuado en la que tiene que ver con la producción alimenticia.

Dicho esto se puede fácilmente concluir que aun cuando la potencia a generar no obliga a presentar un estudio de impacto ambiental, el impacto en si es inevitable. Pero puede afirmarse que el impacto que genere este proyecto es de menor escala.

Es posible que lo más afectado sea la vegetación. En las visitas de campo siempre fue necesaria la ayuda de lugareños para el reconocimiento de la zona y para la elaboración de trochas a través de la abundante vegetación. Este impacto será aún

mayor en la etapa de construcción debido a que se deben elaborar senderos mucho más amplios para el transporte de materiales hasta la ubicación de la captación.

Desde la captación hasta la casa de máquinas y el canal de desfogue es inevitable la remoción de materiales del suelo. Ninguna es menos importante, la captación necesita una firme y muy resistente estructura y para ello se debe remover material del suelo para anclar el azud. El túnel y canal de conducción, dependiendo de las dimensiones que más adelante se establecerán, requiere la alteración del perfil de las pendientes pues no solo se debe hacer lugar para el canal en si, además se debe asegurar que el talud tenga la firmeza suficiente. Además de todo esto se debe anotar que en todas las obras existe remoción de capa vegetal y esto conlleva a deteriorar la calidad del suelo para la flora.

#### **4.15 Plan de manejo ambiental**

Es un conjunto de programas destinados a detallar las formas de prevenir y disminuir los efectos ambientales negativos a través del desarrollo de un proyecto. En caso de existir impactos positivos se deben establecer pautas para potenciarlos. Estos programas se detallan a continuación.

#### **4.16 Plan de prevención de impactos**

En la parte de Identificación y Evaluación de Impactos se tomó en cuenta algunas características de la zona del proyecto, en lo que tiene que ver con su fauna y flora, así como también la calidad de los recursos ambientales. En este plan se darán algunas recomendaciones para prevenir el deterioro de estos recursos.

Es un hecho que el mayor impacto está reflejado en la vegetación. La tala de árboles se hará necesaria en algunas partes de la construcción, además la necesidad de rutas de accesos a los puntos importantes que conllevan a la destrucción de matorrales, plantas pequeñas y arbustos. Esto lleva a la necesidad de plantear alternativas de prevención y analizarlas detenidamente, entre otras se puede mencionar las siguientes:

- *Estudio de alternativas de diseño*

Esto tiene mucho que ver con el estudio geológico y topográfico de la zona. A estas alturas del estudio ya se tiene determinada una alternativa de distribución de las

estructuras físicas del proyecto dentro de la zona y se encuentra plasmada en el plano topográfico realizado.

- *Estudio de las especies vegetales*

Cortar un árbol de unos cuantos lustros de vida es un fuerte impacto a largo plazo, más aún si se habla de bosques, pues se suma también un impacto a la estética del entorno y a la armonía visual. Cortar arbustos, pequeñas plantas, pastizales y otros es un tema diferente ya que los impactos se reducen a corto plazo, es por eso la necesidad de diferenciar las especies atacadas.

Para el caso de árboles mayores y bosques se debe analizar la forma de mitigar el impacto y de ello se hablará más adelante.

Para el caso de especies menores se debe analizar las rutas en las que se produzcan los menores daños. Por ejemplo, se puede utilizar el río como una vía de acceso, al menos para personas es una buena alternativa. Para maquinaria sería necesario preparar el cauce pues existen partes en las que los escombros acarreados en crecientes anteriores forman depósitos escabrosos. Además dependiendo de la máquina, se puede transportar materiales a través del río mediante el uso de trineos previa preparación del cauce por supuesto.

En las visitas de campo realizadas se observó que anteriormente se habían elaborado senderos paralelos al río pero con el tiempo la densa vegetación se había encargado de cubrirlos dejando solo rastros de ellos. Esto es un punto a favor, pues si se realizan pequeñas alteraciones a muy corto plazo la naturaleza se encargará por sí sola de reparar los daños.

- *Precaución en la remoción de materiales.*

La base de una buena vegetación es un excelente terreno y tener la humedad necesaria. La humedad depende en gran parte del clima y poco o nada se afectará en el proyecto, no así el terreno. La remoción de la capa vegetal se hará imprescindible a lo largo de la construcción, si no se tiene el cuidado respectivo el terreno puede quedar irremediablemente afectado. Para evitarlo es necesario entre otras cosas lo siguiente:

Los operadores de máquina deben conocer los procedimientos necesarios para el trabajo con capa vegetal, forma de remoción, transporte y depósito de esta.

La capa vegetal removida en lo posible debe ser repuesta en su totalidad a su lugar de procedencia.

En caso de usar cuadrillas para este trabajo, se debe capacitar a los trabajadores y enseñar la importancia del cuidado de la capa vegetal.

- *Localización de Viveros Forestales*

Se debe ubicar un vivero lo más próximo a la zona y dotarlo de las especies suficientes para cubrir futuras reforestaciones. De no existir es necesario implementar uno con ayuda de la comunidad. Además de las especies nativas será necesario el uso de especies ornamentales.

Otro recurso importante que se debe proteger es el agua y su calidad. El río Puela posee una excelente calidad de agua esto se debe a la pendiente que posee pues le ayuda a mantener la velocidad suficiente como para evacuar de forma rápida cualquier tipo de sedimento flotante que pudiera formarse. Para conservar esto se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

Si se realizan trabajos en el cauce del río utilizando maquinaria pesada es necesario que ésta se encuentre en buenas condiciones y se le dé el respectivo mantenimiento preventivo a lo largo de los trabajos, pues pueden ocasionarse fugas de líquidos contaminantes muy perjudiciales para plantas y animales que se aprovisionan de esta vertiente.

En la construcción de la bocatoma se debe desviar el curso del río. Esto además de facilitar los trabajos evita que las aguas acarreen materiales peligrosos como cemento y aditivos para fundiciones y en caso de producirse derrames involuntarios podrán efectuarse los respectivos trabajos de restauración y remoción de químicos.

En la preparación del cauce para el tránsito de personas y máquinas se debe evitar que se formen pequeños embalses o diques con los materiales removidos. Esto puede ocasionar graves y peligrosas obstrucciones en las crecientes que retrasen e incluso detengan los trabajos.

El aire poco o nada se afectará, en el peor de los casos, algún motor en mal estado puede arrojar a la atmósfera mayor cantidad de dióxido y monóxido de carbono del racionalmente permitido pero el impacto sería a muy corto plazo y mínimo pues la vegetación presente en la zona ayudará automáticamente a reducir estos índices.

## CAPÍTULO V

### 5. DISEÑO DE OBRAS CIVILES

Una parte fundamental para el correcto funcionamiento de una central hidroeléctrica, depende principalmente del correcto diseño de las obras civiles en la captación y adecuada selección de sus elementos, los mismos que deberán garantizar un apropiado funcionamiento.

Ya que la captación del agua se lo realizará por medio de una bocatoma convencional, colocada a en dirección al cauce del río se hace necesario el diseño de obras complementarias.

#### 5.1 Diseño de la presa o azud [3]

Ya que nuestro azud actuará como un vertedero cuando exista caudal de exceso, es imprescindible que su perfil sea el adecuado, es por ello que tomaremos como el perfil de Creager, como base de diseño.

**Figura 45.** Ejemplo gráfico de un azud.



**Fuente:** <http://iesmonre.educa.aragon.es/alumnos0708/aguajiloca/galeriazud.htm>

Para su dimensionamiento es conveniente recoger algunos datos, mismos que se detallan a continuación:

**5.1.1** *Temperatura promedio del agua en la zona del proyecto.* Para determinar la temperatura media del agua presente en el río, se realizó diferentes mediciones de temperatura en el agua del río Puela, llegando a poseer este una temperatura promedio de 12°C [59 °F].

**5.1.2** *Caudal de avenida y estiaje.* Los niveles de caudales de avenida y estiaje presentes en nuestro río, será los valores máximos y mínimos de caudal que tendrá el río respectivamente, para ello observando en la Referencia [7] podemos observar que:

$$Q_{\text{avenida}} = 21,26 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1)$$

$$Q_{\text{estiaje}} = 11,69 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2)$$

**5.1.3** *Ancho local del río.* El ancho del río durante su trayectoria será irregular, es por ello que mediante el estudio planimétrico de la zona que consta en el Anexo D, podemos observar que el ancho promedio del río, en la zona destinada para la captación será de:

$$\text{Ancho del río} = 4,55 \text{ m [14,93 ft]} \quad (3)$$

**5.1.4** *Velocidad de acercamiento del río.* Mediante un estudio visual, se puede observar que el cauce del río, por poseer una gran pendiente, también posee velocidad de acercamiento alta, es por ello que nos asumiremos una velocidad de aproximación de 5m/s.



**5.1.5** *Altura del azud.* La altura de nuestro azud o presa, la podremos asumir, por lo que estimativamente se recomienda según la referencia [1], que este tenga una altura aproximada de:

$$H=1,5 \text{ m [4,92 ft]}. \quad (4)$$

**5.1.6** *Factores de forma de coronamiento para distintas formas de vertederos.* Como se observa en el Anexo E, existirán diversos factores de forma para el azud, y este dependerá de la forma geométrica que se adopte, es así que tendremos que para un azud con cresta redondeada tendremos:

$$\mu = 0,75 \quad (5)$$

**5.1.7** *Altura de carga sobre el azud [3].* Entonces siguiendo el pre diseño de nuestro azud, se deberá calcular la altura de carga sobre el azud, para lo cual nos ayudaremos de la ecuación para vertederos, como indica la Referencia [3].

$$h = \left[ \frac{3 * Qa}{2 * \mu * b * \sqrt{2g}} + \left( \frac{V^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \right]^{\frac{2}{3}} - \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Dónde:

- ✓  $Qa$  = Caudal de avenida [ $m^3/s$ ].
- ✓  $\mu$  = Factor de forma en para distintas formas de vertedero.
- ✓  $b$  = Ancho total del río [m]
- ✓  $V$  = Velocidad de acercamiento [2 m/s].

Entonces tendremos:

$$h=0,361 \text{ m [1,18 ft]}$$

**5.1.8** *Velocidad del agua sobre la cresta del azud [3]*

$$V^* = \frac{Q_a}{b * h} \quad (7)$$

Entonces se tendrá:

$$V^*=1,69 \text{ m/s [5,54 ft/s]}$$

**5.1.9** *Cálculo de la energía cinética [3].* Este parámetro nos ayudara a obtener las dimensiones reales del azud, es por ello que tendremos:

$$h_e = h + \frac{V^2}{2g} \quad (8)$$

Dónde:

- ✓  $h$  = Altura de carga [m].
- ✓  $V$  = Velocidad de acercamiento [m/s].

$$h_e=0,51 \text{ m [1,66 ft]}$$

**5.1.10** *Cálculo de la altura total del agua sobre el lecho del río [3]*

$$H_e = H + h_e \quad (9)$$

Dónde:

- ✓  $H$  = Altura del azud [m].
- ✓  $h_e$  =Energía cinética [m].

Entonces tendremos:

$$H_e=2,01 \text{ m [6,58 ft]}$$

### 5.1.11 *Altura de caída de agua [3]*

$$\Delta h = 1,2 * H_e \quad (10)$$

Dónde:

✓  $H_e$  = Altura total del agua sobre el lecho del río [m].

$$\Delta h = 2,41 \text{ m [7,90 ft]}.$$

#### 5.1.11.1 *Cálculo de la velocidad de caída del agua $v_1$ [3]*

$$V_1 = \sqrt{2g * \Delta h} \quad (11)$$

Dónde:

✓  $\Delta h$  = Altura de caída del agua [m].

$$V_1 = 6,87 \text{ m [22,55 ft]}$$

### 5.1.12 *Cálculo del caudal de agua sobre el azud por metro lineal [3]*

$$Q = \frac{Q_{av}}{b} \quad (12)$$

Dónde:

✓  $Q_{av}$  = Caudal máximo de avenida [ $\text{m}^3/\text{s}$ ].

✓  $b$  = Ancho del río [m].

$$Q = 4,67 \frac{\text{m}^3}{\text{m} * \text{s}}$$

**5.1.13** *Cálculo de la altura del agua al final del azud  $h_1$  [3]*

$$h_1 = \frac{Q}{V_1} \quad (13)$$

Dónde:

- ✓  $Q$  = Caudal de agua sobre el azud sobre metro lineal [ $m^3/m.s$ ].
- ✓  $V_1$  = Velocidad de caída del agua [ $m/s$ ].

$$h_1 = 0,68 \text{ m } [2,23 \text{ ft}].$$

**5.1.14** *Cálculo de la profundidad del colchón [3]*

$$P_c = |H_e - \Delta h - h_1| \quad (14)$$

Dónde:

- ✓  $H_e$  = Altura total del agua sobre el lecho del río [ $m$ ].
- ✓  $\Delta h$  = Altura de caída del Agua [ $m$ ].
- ✓  $h_1$  = Altura del agua al final del azud [ $m$ ].

$$P_c = 1,08 \text{ m } [3,55 \text{ ft}].$$

**5.1.15** *Cálculo de la cota vertical del azud  $y_{az}$  [3]*

$$Y_{AZ} = \Delta h + h_1 - h_e \quad (15)$$

Dónde:

- ✓  $\Delta h$  = Altura de caída del agua [ $m$ ].
- ✓  $h_1$  = Altura del agua al final del azud [ $m$ ].

✓  $h_e$  =Energía cinética [m].

$$Y_{AZ}=2,58 \text{ m [8,47 ft]}.$$

**5.1.16** *Cálculo para determinar la primera condición de diseño del azud [3]*

$$h_2' = P_c + \Delta h_d \quad (16)$$

Dónde:

✓  $p_c$  = Profundidad del colchón [m].

✓  $\Delta h_d$  = Altura del dentellón = [0,3 m].

$$h_2' = 1,38 \text{ m [4,53 ft]}$$

$$h_2 = \frac{0,45Q}{\sqrt{h_1}}$$

Dónde:

✓  $Q$  = Caudal de agua sobre el azud sobre metro lineal [ $\text{m}^3/\text{m.s}$ ].

✓  $h_1$  = Altura del agua al final del azud [m].

$$h_2 = 2,55 \text{ m [8,37 ft]}$$

Verificamos que se cumple la condición de:

$$h_2 > h_2' \quad (17)$$

$$2,55 > 1,38$$

Entonces se tomara el valor de  $h_2$ .

**5.1.17** *Cálculo de la altura del diente al final del zampeado e [3]*

$$e = 0,08 * h^{2/3} * H \quad (18)$$

Dónde:

✓  $H$  = Caudal de agua sobre el azud sobre metro lineal [ $m^3/m.s$ ].

✓  $h_1$  = Altura del agua al final del azud [m].

$$e = 0,06 \text{ m } [0,20 \text{ ft}].$$

**5.1.18** *Cálculo de la longitud de la cuenca  $L_z$  [3]*

$$L_z = 5 * (h_2 - h_1) \quad (19)$$

Dónde:

✓  $h_2$  = Altura de la condición de diseño del azud [m].

✓  $h_1$  = Altura del agua al final del azud [m].

$$L_z = 9,35 \text{ m } [30,68 \text{ ft}]$$

**5.1.19** *Cálculo del diámetro medio del material [3].* Es necesario la construcción de obras auxiliares que eviten el daño en la zona posterior de la obra de toma debido a cambios bruscos en el lecho del río, es por ello que se realiza el cálculo del diámetro medio del material que pueda proteger el cauce, para ello utilizaremos la siguiente expresión:

$$D_m = \frac{1,4}{\Delta} * \frac{(V_1 + 0,5)^2}{8g} \quad (20)$$

Dónde:

- ✓  $\Delta$  = Relación de peso específico del hormigón con el agua (1,7) [Referencia 8]
- ✓  $V_2$  = Velocidad de caída del agua [m/s].

$$D_m = 0,57 \text{ m [1,87 ft]}$$

### 5.1.20 *Cálculo de la profundidad de protección aguas abajo ds [3]*

$$F_b = 1,76 * \sqrt{D_m} \quad (21)$$

Dónde:

- ✓  $D_m$  = Diámetro medio del material [m].

$$F_b = 1,33 \text{ m [4,36 ft]}$$

$$h_m = 1,34 * \frac{Q_d^{\frac{2}{3}}}{F_b^{\frac{1}{3}}} \quad (22)$$

Dónde:

- ✓  $Q_d$  = Caudal de diseño [m<sup>3</sup>/s].

$$h_m = 5,56 \text{ m [18,25 ft].}$$

Dónde la profundidad de protección será:

$$d_s = 2,5 * h_m \quad (23)$$

$$d_s = 13,91 \text{ m [45,62 ft]}$$

### 5.1.21 *Cálculo de la longitud de protección aguas abajo ls [3]*

$$L_L = 1,75 * ds \quad (24)$$

Dónde:

✓  $ds$  = Profundidad de protección [m].

$$L_L = 24,33 \text{ m [79,84 ft]}$$

### 5.1.22 *Cálculo de la distancia de protección aguas abajo do [3]*

$$do = 1,70 * \Delta hd \quad (25)$$

Dónde:

✓  $\Delta hd$  = Altura del dentellón [0,3m].

$$do = 0,51 \text{ m [1,67 ft]}$$

$$da = ds - do \quad (26)$$

Dónde:

✓  $ds$  = Profundidad de protección [m].

✓  $do$  = Distancia de protección [m].

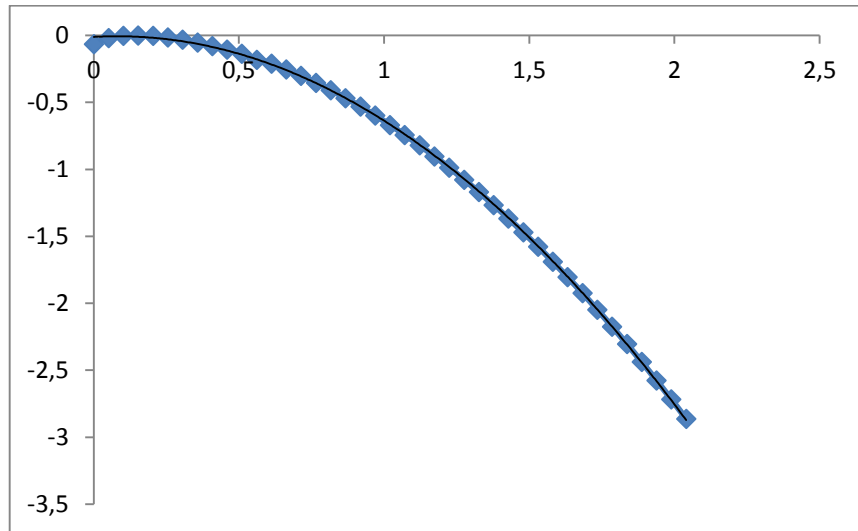
$$da = 13,40 \text{ m [43,95 ft]}$$

Para conocer el perfil que tendrá nuestro azud, deberemos conocer las coordenadas de Creager mismas que se detallamos en el Anexo F, y con ellas tanto las abscisas y ordenadas deben ser multiplicadas por  $h_e$ , obteniendo las coordenadas de nuestro perfil de azud, las cuales se encuentran en el Anexo G.



Obteniendo el siguiente perfil de Creager:

**Figura 46.** Perfil del azud.



**Fuente:** Autores

Como observamos en la figura 46, la gráfica obtenida es una parábola, por lo cual la ecuación de nuestro que gobierna nuestro perfil la siguiente:

$$y = -0,7462x^2 + 0,1207x - 0,0113 \quad (27)$$

**5.1.23 Verificación de la estabilidad del azud [3].** Se debe verificar la estabilidad que posee nuestro azud diseñado, donde podremos indicar que es el adecuado cuando cumpla las siguientes condiciones:

$$f_{\max} \leq f_{\text{disponible}} \quad (28)$$

$$f_{\min} \leq f_{\text{disponible}} \quad (29)$$

Para ello deberemos calcular otros parámetros como:

a) *Ecuación del área del azud [3]*

$$A_z = (Y_m - c) * x_m - a * \frac{x_m^3}{3} - b * \frac{x_m^2}{2} \quad (30)$$

Dónde:

- ✓  $X_m, Y_m$  = Distancias máximas del perfil de Creager.
- ✓  $a, b, c$  = Coeficientes de la ecuación del perfil obtenido.

$$A_z = 3,95 \text{ m}^2 [42,51 \text{ ft}^2]$$

*b) Momento de la región [3]*

$$M_y = \frac{(Y_m - c) * x_m^2}{2} - \frac{b * x_m^3}{3} - \frac{a * x_m^4}{4} \quad (31)$$

$$M_y = -3,04 \text{ N.m}$$

*c) Centro de gravedad [3]*

El centro de gravedad se lo tomará a partir del eje de las ordenadas, y para su cálculo nos ayudaremos de la expresión:

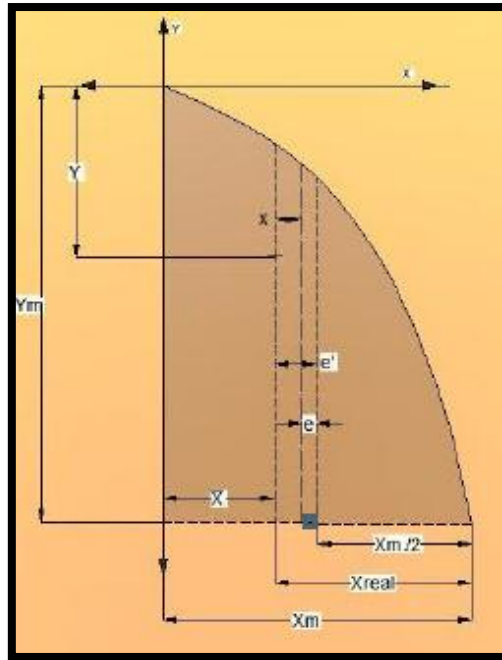
$$\bar{x} = \frac{M_y}{A} \quad (32)$$

$$\bar{x} = 0,77 \text{ m}$$

$$\bar{x}_{\text{real}} = x_m - \bar{x} \quad (33)$$

$$\bar{x}_{\text{real}} = 1,27 \text{ m.}$$

**Figura 47.** Dimensiones del azud .



**Fuente:** FREIRE, Edwin. Elaboración e implementación de un software para el diseño de centrales hidroeléctricas hasta 10MW

a) *Cálculo del peso del azud con respecto a la longitud [3]*

$$W_z = \gamma_{\text{concreto}} * A_z \quad (34)$$

Dónde:

✓  $\gamma$  = Peso específico del concreto [23520 N/m<sup>3</sup>].

$$W = -92955,55 \text{ N/m.}$$

b) *Distancia donde se aplica la fuerza  $\vec{P}$  desde la cresta del vertedero*

$$Y = \frac{Y_m}{-3} \quad (35)$$

$$Y = 0,9537 \text{ m [3,13 ft]}.$$

c) *Cálculo de la fuerza  $\vec{P}$  con respecto a la longitud*

$$\vec{P} = \rho_{\text{agua}} * \frac{Ym^2}{2} \quad (36)$$

Dónde:

✓  $\rho_{\text{agua}}$  = Densidad del agua a 15°C [1000 Kg/m³].

$$\vec{P} = 4092,95 \text{ N/m}$$

$$x = \frac{\vec{P} * y}{W} \quad (37)$$

$$x = 0,04 \text{ m [0,14 ft]}$$

d) *Cálculo de la excentricidad  $e'$  con respecto al centro del azud [1]*

$$e' = x_{\text{real}} - \frac{xm}{2} \quad (38)$$

$$e' = 0,25 \text{ m [0,82 ft]}$$

Ya que nuestro  $e'$  es un valor positivo, nos da a entender que el mismo se encuentra hacia la izquierda del centro.

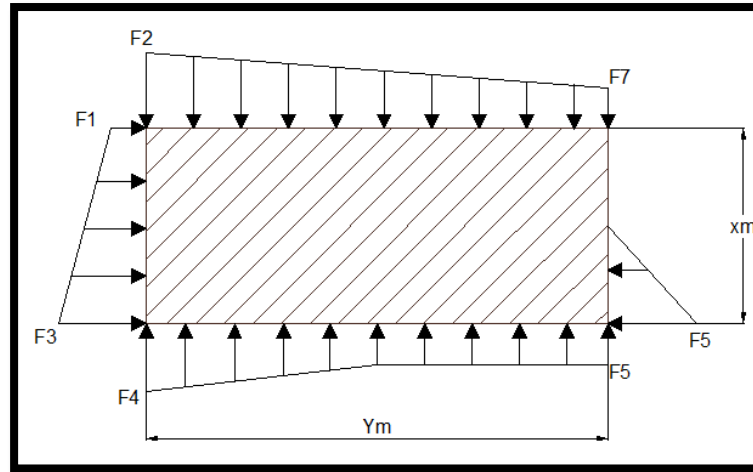
Entonces el siguiente valor de  $e''$ , servirá para determinar la condición del azud:

$$e'' = e' - x \quad (39)$$

$$e'' = 0,21 \text{ m [0,69 ft]}$$

e) *Cálculo que ejerce la estructura sobre la roca donde se unen las fuerzas 3 y 4 [1]*

**Figura 48.** Fuerzas actuantes sobre el azud .



**Fuente:** Autores

Como se puede observar en la figura 48, los momentos críticos a analizar serán:

$$f_{\max} = \frac{W}{|A|} * \left( 1 + 6 * \frac{e}{xm} \right) \quad (40)$$

$$f_{\max} = 37974,24 \text{ N/m}^2$$

$$f_{\min} = \frac{W}{|A|} * \left( 1 - 6 * \frac{e}{xm} \right) \quad (41)$$

$$f_{\min} = 9065,76 \text{ N/m}^2$$

Ya que la resistencia promedio de la roca es de 98000 N/m<sup>2</sup>, entonces comprobando nuestras condiciones anteriores (5.28 y 5.29) tendremos que:

$$f_{\max} \leq f_{\text{disponible}}$$

$$37974 \leq 98000 \text{ OK}$$

$$f_{\min} \leq f_{\text{disponible}}$$

$$9065 \leq 98000 \text{ OK}$$

Ya que las condiciones se cumplieron a satisfacción, podremos concluir que nuestro azud será estable.

**5.1.24** *Verificación del deslizamiento del azud [1].* Como se muestra en la figura 48, podemos encontrar todas las fuerzas que actuaran sobre nuestro azud, es por ello que es imprescindible calcular el valor de cada una de ellas y así poder comprobar el factor de seguridad ante el deslizamiento de nuestro azud, entonces tendremos:

**a)** *Cálculo de la fuerza dada por la carga energética del fluido  $F_1$*

$$F_1 = \left( \left( \frac{V^2}{2g} + h \right) \right) * \rho_{\text{agua}} \quad (42)$$

Dónde:

✓  $V$  = Velocidad de Acercamiento del Río [m/s].

$$F_1 = 564,83 \text{ Kg/m}^2$$

**b)** *Cálculo de la fuerza dada por la altura de carga del fluido  $F_2$*

$$F_2 = h * \rho_{\text{agua}} \quad (43)$$

$$F_2 = 360,96 \text{ Kg/m}^2$$

**c)** *Cálculo de la fuerza dada por la carga energética y la altura total del agua sobre el lecho del río  $F_3$*

$$F_3 = \left( \left( \frac{V^2}{2g} + h + H_e \right) \right) * \rho_{\text{agua}} \quad (44)$$

$$F_3 = 2570,99 \text{ Kg/m}^2$$

- d)** *Cálculo de la fuerza dada por la altura de carga y la altura total del agua sobre el lecho del río  $F_4$*

$$F_4 = (h + He) * \rho_{agua} \quad (45)$$

$$F_4 = 2366,91 \text{ Kg/m}^2$$

- e)** *Cálculo de la fuerza dada por la profundidad del colchón  $F_5$ ,  $F_6$ ,  $F_7$ .*

$$F_5 = Pc * \rho_{agua} \quad (46)$$

$$F_5 = 1081,10 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_5 = F_6 \quad (47)$$

$$F_6 = 1081,10 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_7 = h_1 * \rho_{agua} \quad (48)$$

$$F_7 = 679,91 \text{ Kg/m}^2$$

- f)** *Cálculo de la fuerza por las cargas horizontales a la izquierda del azud  $F_8$ .*

$$F_8 = (F_3 + F_1) * \frac{He}{2} \quad (49)$$

$$F_8 = 3145,15 \text{ Kg/m}^2$$

- g)** *Cálculo de la fuerza por la carga horizontal a la derecha del azud  $F_9$ .*

$$F_9 = \frac{F_5 * Pc}{2} \quad (50)$$

$$F_9 = 584,39 \text{ Kg/m}^2$$

**h) Cálculo de la fuerza producida por el peso del azud  $F_{10}$ .**

$$F_{10} = |A| * \rho_{\text{concreto}} \quad (51)$$

Dónde:

✓  $\rho_{\text{concreto}} = \text{Densidad del concreto [2400 Kg/m}^3\text{]}.$

$$F_{10}=9485,26 \text{ Kg/m}^2$$

**i) Cálculo de la fuerza por carga vertical dirigida hacia abajo  $F_{11}$ .**

$$F_{11} = (F_2 + F_7) * \frac{xm}{2} \quad (52)$$

$$F_{11}=1061,69 \text{ Kg/m}^2$$

**j) Cálculo de la fuerza por cargas verticales dirigidas hacia arriba  $F_{12}$ .**

$$F_{12} = (F_4 + F_6) * \frac{xm}{4} + F_6 * \frac{xm}{2} \quad (53)$$

$$F_{12}= 2861,21 \text{ Kg/m}^2$$

**k) Cálculo de las fuerzas resultantes de las cargas verticales  $F_{RV}$ .**

$$F_{RV} = F_{10} + F_{11} - F_{12} \quad (54)$$

$$F_{RV}=7685,74 \text{ Kg/m}^2$$

**l) Cálculo de las fuerzas resultantes de las cargas horizontales  $F_{RH}$ .**



$$F_{RH} = F_8 - F_9 \quad (55)$$

$$F_{RH}=2560,76 \text{ Kg/m}^2$$

Si consideramos un coeficiente de rozamiento entre la roca y el concreto de  $\mu_{roca}=0,85$  [1], tendremos:

$$F_{RB} = F_{RV} * \mu_{roca} \quad (56)$$

$$F_{RB}= 6532,88 \text{ Kg/m}^2$$

Luego se procede a calcular el coeficiente de seguridad, para poder observar si el diseño propuesto para el azud es el correcto, es así que tendremos:

$$n_{seg} = \frac{F_{RB}}{F_{RH}} \quad (57)$$

$$n_{seg}=2,55$$

Este factor demuestra que la fuerza resultante que mantiene pegado al azud al piso, es mayor que la fuerza horizontal resultante, por lo que su diseño es correcto y ofrece una seguridad ante el deslizamiento.

**5.1.25 Verificación al volteo del azud [3].** Para proceder a la verificación de nuestro azud contra un posible volteo, es conveniente realizar un análisis de momentos sobre un punto de su estructura, para ello tomaremos un punto 0, el cual ubicaremos en la esquina inferior derecha del azud, es decir tendremos:

$$M_{01} = F_1 * \frac{He^2}{2} + (F_4 - F_2) * \frac{He^2}{6} \quad (58)$$

$$M_{01}=2481,66 \text{ Kg}.$$

$$M_{02} = F_6 * \frac{xm^2}{2} + (F_4 - F_6) * \frac{xm}{4} * \left( \frac{xm}{2} + \frac{xm}{3} \right) \quad (59)$$

$$M_{02}=3364,35 \text{ Kg}.$$

Es decir el momento total de volteo es:

$$\sum M_v = M_{01} + M_{02} \quad (60)$$

$$\sum M_v = 5846,01 \text{ Kgf.}$$

Ahora se procede a calcular el momento total resistente del concreto, es decir tendremos:

$$M_{\text{concreto}} = \bar{x}_{\text{real}} * W \quad (61)$$

$$M_{\text{concreto}} = 118140,91 \text{ N [12055,20 Kgf]}$$

$$\sum M_R = F_7 * \frac{xm^2}{2} + (F_2 - F_7) * \frac{xm^3}{3} \quad (62)$$

$$\sum M_R = 60,87 \text{ Kgf.}$$

Es decir el momento total resistente será:

$$M_z = M_{\text{concreto}} + \sum M_R \quad (63)$$

$$M_z = 12116,06 \text{ Kg}$$

Procedemos a calcular el coeficiente de seguridad contra el volteo, es decir tendremos:

$$nv = \frac{M_z}{\sum M_v} \quad (64)$$

$$nv = 2,07$$

Es decir que el diseño es adecuado, ya que nos brindara una seguridad del 100%, de que nuestro azud no sufrirá daños por un volteo eventual.

**5.1.26** *Diseño de compuertas de mantenimiento [3].* Es evidente que será necesario realizar trabajos de mantenimiento en nuestra central hidroeléctrica, es por ello que es de

vital importancia la realización de compuertas que permitan el desfogue total del caudal del río.

Para su diseño es recomendable tomar el caudal que circule por la compuerta, sea un porcentaje mayor al caudal a captar, para lo cual nos ayudaremos de la expresión:

$$Q_{com} = K * e * a * b_c * \sqrt{2g * \left( H + \frac{v^2}{2g} - e * a \right)} \quad (65)$$

Dónde:

- ✓  $K$  = Constante entre 0.95 – 0.97.
- ✓  $a$  = Apertura de la compuerta [m].
- ✓  $b_c$  = Ancho de la compuerta [m].
- ✓  $e$  = Coeficiente dado en función de  $a/H$ .
- ✓  $H_e$  = Altura Total del agua sobre el lecho del río [m].
- ✓  $v$  = Velocidad de acercamiento del río [m/s]
- ✓  $g$  = Aceleración de la gravedad. [9.81m/s<sup>2</sup>].

Ya que la altura  $H_e$  dentro del azud es de 2,01 m [6,58ft], entonces nos asumiremos un valor de apertura de la compuerta de 1,4 m [4,59 ft] y un ancho de compuerta de 0,8 m [2,62 ft].

Se deberá calcular el coeficiente  $e$ , para ello es necesario determinar la relación existente entre  $a$  y  $H$ , entonces se tendrá:

$$\frac{a}{H_e} = 1 \quad (66)$$

Una vez obtenida la relación, ayudados del Anexo H, encontramos el coeficiente  $e$ , mismo que tendrá un valor de:

$$e=1$$

Encontrados todos los parámetros, procedemos a remplazarlos en la expresión 65, con lo cual tendremos:

$$Q_{com} = K * e * a * b_c * \sqrt{2g * \left( H' + \frac{v^2}{2g} - e * a \right)}$$

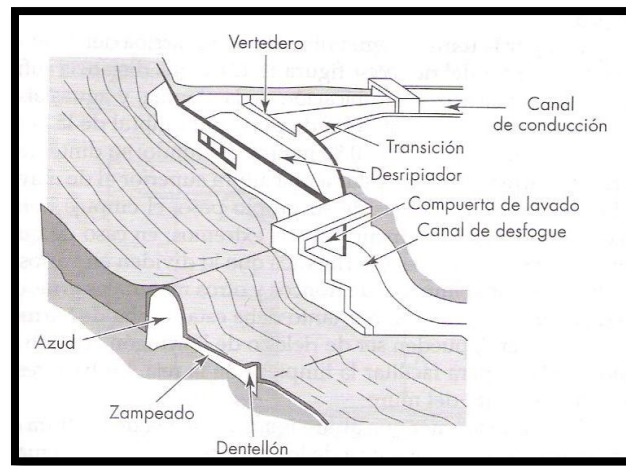
$$Q_{com} = 2,65 \text{ m}^3/\text{s} \approx 3 \text{ m}^3/\text{s}$$

El valor obtenido nos da a entender que necesitaremos de 2 compuertas de lavado a los extremos del azud, las mismas que podrán evacuar la totalidad del caudal de agua en época de estiaje.

## 5.2 Diseño de la bocatoma [9]

Para este tipo de proyectos se hace necesario seleccionar un adecuado tipo de bocatoma, por lo que tomaremos una Bocatoma de tipo Convencional, la misma que para su correcto diseño es necesario considerar algunos parámetros:

**Figura 49.** Esquema principal de una bocatoma convencional.

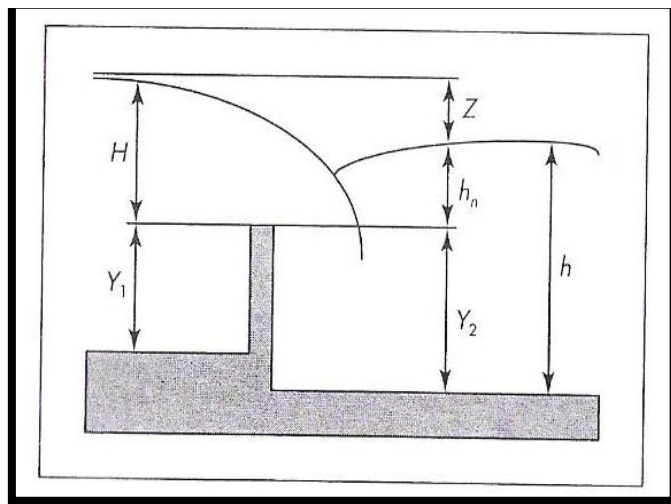


**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas centrales hidroeléctricas

- ✓ Es necesario tener una pendiente longitudinal que puede llegar al 10% o más.
- ✓ Existencia de crecientes súbitas causadas por lluvias fuertes con una corta duración y que traen como consecuencia gran acarreo de material pétreo.
- ✓ Muy poca presencia de sedimentos finos y agua relativamente limpia en épocas de sequía.

**5.2.1** *Parámetros para el diseño de la bocatoma [9].* Mediante el estudio topográfico se pudo determinar que el lugar geográfico adecuado para la bocatoma se encuentra a una altura de 2626 m [8.615,49 ft], el mismo que podemos observar en el Anexo I ,entonces para el inicio del dimensionamiento de la bocatoma lateral, es necesario tomar en cuenta parámetros importantes, los mismos que son:

**Figura 50.** Principales parámetros de una bocatoma convencional.



**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

**Tabla 9.** Parámetros de la bocatoma

Parámetro	Símbolo	Valor
Caudal de Máximo de Diseño	Qd.	9,75 m <sup>3</sup> /s
Caudal Medio Anual	Qm	16,64 m <sup>3</sup> /s
Altura del Umbral sobre el Fondo del Río	Y <sub>1</sub>	0,5m [19,69 in]
Altura de la Rejilla	H	1 m [39,37 in]
Desnivel entre las superficies del Agua	Z <sub>q</sub>	0,35 m [13,78 in]
Altura del Desripeador	Y <sub>2</sub>	1 m [39,37 in ]

**Fuente:** Autores

Se procede a realizar el dimensionamiento de la bocatoma lateral, para lo cual nos ayudaremos de la expresión:

$$Qd = k * s * M * b1 * H^{\frac{3}{2}} \left( \frac{m^3}{s} \right) \quad (67)$$

Dónde:

- $Q_d$  = Caudal de diseño [ $m^3/s$ ].
- $k$  = Coeficiente de pérdida.
- $s$  = Coeficiente de corrección de sumersión.
- $M$  = Coeficiente de vertedero.
- $b_1$  = Ancho preliminar del vertedero [m]
- $H$  = Carga sobre la cresta [m].

Como se puede observar en la figura 50, existe una ventana de captación, la misma que actuara como un vertedero de pared delgada. Es por ello que para poder determinar los coeficientes  $M$  y  $s$ , es necesario comprobar que las condiciones estarán de acuerdo con las circunstancias de vertederos sumergidos de pared delgada.

Para que un vertedero sea considerado de pared delgada debe cumplir la siguiente condición y asumiendo que tendremos un espesor de pared de 0,1 m [3,93 in] tendremos:

$$\frac{H}{e_{\text{pared}}} > 1.5 \quad (68)$$

$$\frac{1}{0,1} > 1.5$$

$$10 > 1.5 \quad \text{OK}$$

Una vez que hemos comprobado que se cumple la condición antes mencionada, se procede a determinar el coeficiente de sumersión, para lo cual utilizaremos la expresión según Bazin que es igual a:

$$s = 1,05 * [1 + 0,2 * \frac{h_n}{Y_2}] * (\frac{z}{H})^{\frac{1}{3}} \quad (69)$$

Dónde:

$$h_n = H - z \text{ [m]} \quad (70)$$

$$h_n = 1 - 0,35$$

$$h_n = 0,65 \text{ m [25,59 in]}$$

Es decir si remplazamos los demás términos en la ecuación 69, tendremos:

$$s = 1,05 * \left[ 1 + 0,2 * \left( \frac{0,65}{1} \right) \right] * \left( \frac{0,35}{1} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$s = 0,84$$

Para determinar el coeficiente M de vertedero, nos ayudaremos de la expresión de Konovalov, que dice:

$$M = \left[ 0,407 + \left( \frac{0,045H}{H+Y_1} \right) \right] * \left[ 1 + 0,285 \left( \frac{H}{H+Y_1} \right)^2 \right] * \sqrt{2g} \quad (71)$$

Entonces tendremos:

$$M = \left[ 0,407 + \left( \frac{0,045 * 1}{1 + 0,5} \right) \right] * \left[ 1 + 0,285 \left( \frac{1}{1 + 0,5} \right)^2 \right] * \sqrt{2 * 9,8}$$

$$M = 2,07$$

Se considerara un coeficiente de contracción lateral producida por los barros un valor de K=0,85.

Entonces si procedemos a despejar de la ecuación 67 el parámetro del ancho preliminar del vertedero (b1), tendremos:

$$b1 = \frac{Q_{\max}}{k * s * M * H^{\frac{3}{2}}}$$

$$b1 = \frac{9,75}{0,85 * 0,84 * 2,07 * 1^{\frac{3}{2}}}$$

$$b1 = 6,60 \text{ m [259,68 in]}.$$

Luego procederemos a calcular el número de espacios necesarios entre barrotes, para lo cual nos ayudaremos de la expresión:

$$n = \frac{b_1}{b'} \quad (72)$$

Dónde:

- $b'$  = separación entre barrotes [m].

Para lo cual se tomara una separación entre barrotes de nuestra rejilla, un valor de 0,2 m [7,87 in], el cual nos asegura que el agua fluirá con normalidad y a su vez brindara la seguridad de que materiales como palos u rocas grandes no puedan pasar hacia nuestra bocatoma, es decir tendremos:

$$n = \frac{6,60 \text{ m}}{0,2 \text{ m}}$$

$$n = 32,98 \text{ espacios.}$$

$$n \approx 33 \text{ espacios.}$$

Determinaremos el número de barrotes que estará compuesta nuestra rejilla.

$$N = n - 1 \quad (73)$$

$$N = 33 - 1$$

$$N = 32 \text{ barrotes}$$

Es decir que el ancho total de la reja de nuestra toma de agua tendrá una dimensión de:

$$B = b_1 + N * a' \quad (74)$$

Dónde:

- $B$  = Ancho total de la rejilla de captación [m].
- $a'$  = Espesor de las barras de la rejilla [m].

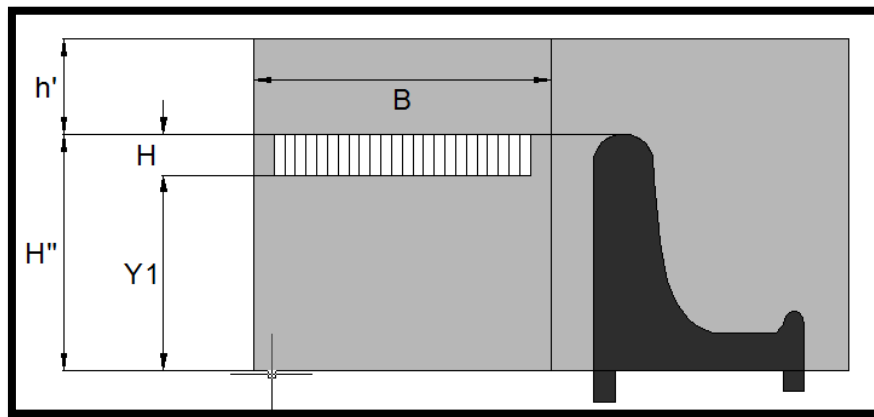


Se cree conveniente utilizar barrotes de un espesor de 0,15 m [5,91 in], los mismos que garantizaran correcto funcionamiento de la rejilla, es decir que se tendrá:

$$B = 6,60 \text{ m} + 32 * 0,15 \text{ m}$$

$$B = 11,39 \text{ m [448,54 in]}.$$

**Figura 51.** Vista principal de la bocatoma tipo convencional.



**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

El muro donde se ubicará la toma de agua, deberá tener una inclinación mayor a 20° con respecto al río, con el fin de acortar la longitud que es necesaria para llegar a terreno alto y así mejorar las condiciones hidráulicas.

Para nuestro caso el ángulo se determinará con la ayuda de la siguiente expresión:

$$\alpha = \arcsin \left[ \frac{V_r}{V_e} \right] \quad (75)$$

Dónde:

- ✓ Vr = Velocidad media del río correspondiente al caudal medio anual.
- ✓ Ve = Velocidad de entrada al canal.

Por lo que para determinar el ángulo, será necesario calcular los parámetros antes mencionados:

*a) Velocidad media del río*

$$V_r = \frac{Q_m}{P_m^2} \quad (76)$$

Dónde:

- $P_m$  = Perímetro mojado [m].

Siendo:

$$P_m = B + 2 H \quad (77)$$

$$P_m = 11,39 + 2(1) \text{ [m]}$$

$$P_m = 13,39 \text{ m [527,28 in].}$$

Entonces si remplazamos en la expresión 75 los parámetros obtenidos tendremos:

$$V_r = \frac{Q_m}{P_m^2}$$

$$V_r = \frac{16,64 \text{ m}^3/\text{s}}{13,39^2 \text{ m}}$$

$$V_r = 0,09 \text{ m [3,65 in]}.$$

***b) Velocidad de entrada al canal***

Se considera que generalmente la velocidad de entrada ( $V_e$ ) del agua a los barrotes que tomara un valor de 1,2 m/s.

Ya que el ángulo de inclinación incide directamente en la cantidad de agua que la rejilla podrá captar, es indispensable su cálculo, y ya que se posee todos los parámetros necesarios, procedemos a remplazar los mismos en la expresión 75, de manera que se tendrá:

$$\alpha = \arcsin \left[ \frac{V_r}{V_e} \right]$$

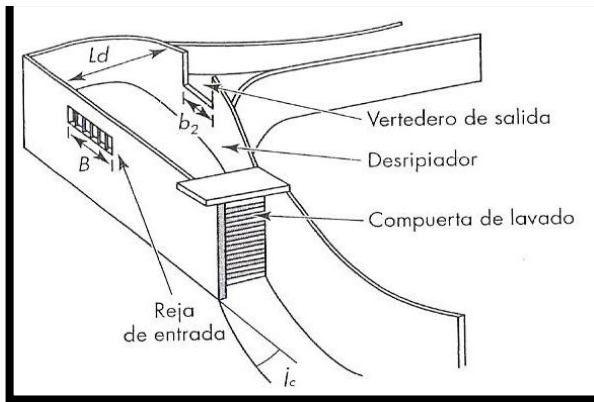
$$\alpha = 85^\circ$$

Es decir el ángulo que deberá formar la pared de la toma de agua con respecto a la dirección del río será de  $5^\circ$ .

### **5.3 Diseño del desripeador [9]**

La función principal de desripeador es retener las piedras que lograron pasar entre los barrotes, las cuales no deberán pasar hacia el canal.

**Figura 52.** Vista principal del desripeador.

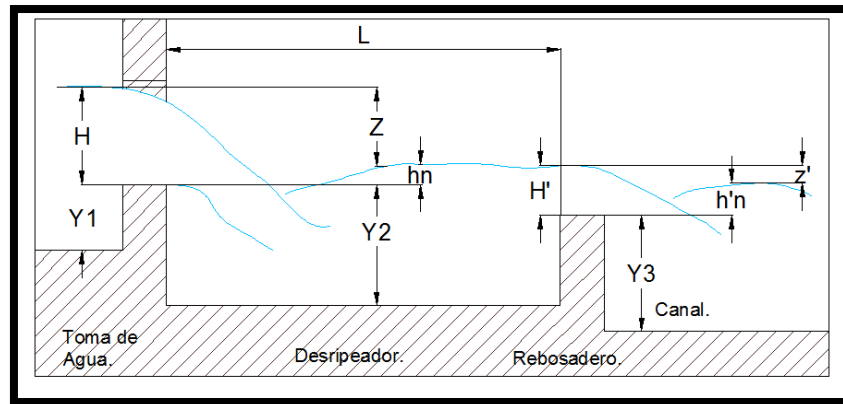


**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

La velocidad del agua debe ser baja, y el paso que esta tenga hacia el canal se deberá realizar por medio de un aliviadero sumergido. Con el fin de que las piedras que se hayan recolectado en el desripeador, se deberá diseñar una compuerta de lavado, la misma que se comunica directamente con un canal de desfogue, la misma que posee un gradiente suficiente como para asegurar una velocidad de lavado alta, capaz de que todas las piedras puedan arrastrarse fácilmente y evitar que estas se queden en las esquinas, se deberá procurar que las esquinas posean una geometría curva.

**5.3.1** *Parámetros para el diseño del desripeador [9].* Algunos de los parámetros necesarios que utilizaremos para el dimensionamiento del Desripeador, serán los que utilizamos anteriormente en el diseño de la Bocatoma Convencional, mismos que se detallan en la tabla 9.

**Figura 53.** Toma de agua, desripeador y rebosadero de una bocatoma convencional.



**Fuente:** Autores

Además de los anteriormente mencionados, será necesario asumir algunos parámetros más, los mismos que presentamos en la siguiente tabla:

**Tabla 10.** Parámetros del desripeador.

PARAMETRO	SIMBOLO	VALOR
Caudal de Diseño.	$Q_d$	$9,75 \text{ m}^3/\text{s}$
Altura de agua en el Canal.	$h_n'$	$0,7 \text{ m [27,56 in]}$
Altura de agua en el Rebosadero.	$H'$	$0,8 \text{ m [31,50 in]}$
Altura del Umbral sobre el Fondo del Canal.	$Y_3$	$1 \text{ m [39,37 in]}$
Desnivel entre las superficies del Agua.	$Z'$	$0,1 \text{ m [3,94 in]}$
Altura del Desripeador.	$Y_2$	$1 \text{ m [39,37 in]}$

**Fuente.** Autores

**5.3.1.1 Cálculo de ancho del vertedero  $b_2$  [9].** Como se observa en la figura 52, se deberá calcular el ancho  $b_2$  del vertedero ubicado en el desripeador, para lo cual nos ayudaremos de la siguiente expresión:

$$b_2 = \frac{Q_d}{S * M * H'^{\frac{3}{2}}} \quad (78)$$

Dónde:

- ✓  $Q_d$  = Caudal de diseño [ $m^3/s$ ].
- ✓  $s$  = Coeficiente de corrección de sumersión.
- ✓  $M$  = Coeficiente de vertedero.

Verificamos que el desripeador este funcione dentro de los parámetros de un vertedero sumergido, para ello que deberá cumplir la condición de:

$$\frac{H'}{e_{pared}} > 1,5 \quad (79)$$

$$\frac{0,8}{0,1} > 1.5$$

$$8 > 1.5 \quad \text{OK!}$$

Una vez que se ha comprobado la condición anterior se calcula el coeficiente de corrección de sumersión, ayudados por la expresión según Bazin, misma que adaptada a nuestras nuevas condiciones se expresa de la siguiente manera:

$$s = 1,05 * \left[ 1 + 0,2 * \left( \frac{hn'}{Y_3} \right) \right] * \left( \frac{Z'}{H'} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (80)$$

Dónde:

$$hn' = H' - Z' \text{ (m)} \quad (81)$$

$$hn' = 0,8 - 0,1 \text{ [m]}$$

$$hn' = 0,7 \text{ m [27,56 in]}$$

Entonces remplazando los valores obtenidos, en la expresión 80 tendremos:

$$s = 1,05 * \left[ 1 + 0,2 * \left( \frac{0,7}{1} \right) \right] * \left( \frac{0,1}{0,8} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$s = 0,60$$

Para calcular el coeficiente de vertedero, utilizaremos la expresión según Konovalov, misma que adaptada a nuestras condiciones tendremos:

$$M = \left[ 0,407 + \left( \frac{0,045 * H'}{H' + Y_3} \right) \right] * \left[ 1 + 0,285 \left( \frac{H'}{H' + Y_3} \right)^2 \right] * \sqrt{2g} \quad (82)$$

De dónde:

$$M = \left[ 0,407 + \left( \frac{0,045 * 0,8}{0,8 + 1} \right) \right] * \left[ 1 + 0,285 \left( \frac{0,8}{0,8 + 1} \right)^2 \right] * \sqrt{2 * 9,8}$$

$$M = 2$$

Es decir que remplazando en la expresión 77 los parámetros que hemos calculado, tendremos:

$$b_2 = \frac{10}{0,60 * 2 * 0,8^{\frac{3}{2}}}$$

$$b_2 = 11,32 \text{ m [445,78 in]}$$

Para que un vertedero se considere que se encuentra sumergido deberemos considerar algunas condiciones como que el nivel del agua bajo el vertedero este por sobre el nivel de la cresta, es decir que exista un valor positivo de  $h_n'$ , es decir:

$$\frac{Z_0}{Y_2} < 0.7 \quad \rightarrow \quad Z_0 = Z' - \frac{v^2}{2g} \quad (83)$$

Necesariamente deberemos calcular algunos parámetros que nos ayudaran a comprobar la expresión 5., por lo tendremos:

### 5.3.1.2 Cálculo de la velocidad del agua [9].

$$Qd = \frac{V}{A} \quad (84)$$

Dónde:

$$A = b_2 * H' \quad (85)$$

$$A = 11,32\text{m} * 0,8 \text{ m}$$

$$A = 9,06 \text{ m}^2 [97,52 \text{ ft}^2]$$

Entonces si despejamos el parámetro velocidad de la expresión 83, tenemos:

$$V = \frac{Qd}{A}$$

$$V = \frac{9,75 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(9,06 \text{ m}^2)}$$

$$V = 1,08 \text{ m/s} [3,54 \text{ ft/s}]$$

Y remplazando en la expresión 82:

$$Z_0 = Z' - \frac{V^2}{2g}$$

$$Z_0 = 0,1 - \frac{1,08^2}{2 * 9,81} [m]$$

$$Z_0 = 0,04$$

Y comprobando la condición tendremos:

$$\frac{Z_0}{Y_2} < 0,7$$

$$0,04 < 0,7 \quad \mathbf{OK}$$



Con lo cual comprobamos que el vertedero actuara como uno de pared delgada y sumergida.

**5.3.1.3 Cálculo de la longitud del desripeador [9].** La longitud del Desripeador es aproximadamente igual a la de la zona de transición<sup>1</sup>, que equivale a:

$$L_d = \frac{b_1 - b_2}{2 * \tan 12,5^\circ} \quad (86)$$

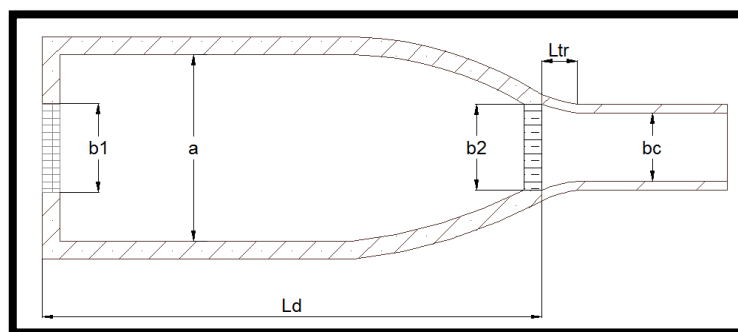
$$L_d = \left| \frac{12,18 - 2,60}{2 * \tan 12,5^\circ} \right|$$

$$L_d = 21,77 \text{ m [71,43in]}$$

Una situación que debemos considerar, es la presencia de piedras que el agua ha arrastrado hacia el desripeador, por lo que es necesaria una compuerta de lavado como se indica en la figura 52.

**5.3.1.4 Cálculo del ancho del desripeador [9]**

**Figura 54.** Vista superior del desripeador



**Fuente:** Autores

<sup>1</sup> Es la forma destinada para que en la unión de dos elementos de un sistema de conducción obtengan un cambio suave en la velocidad del agua.

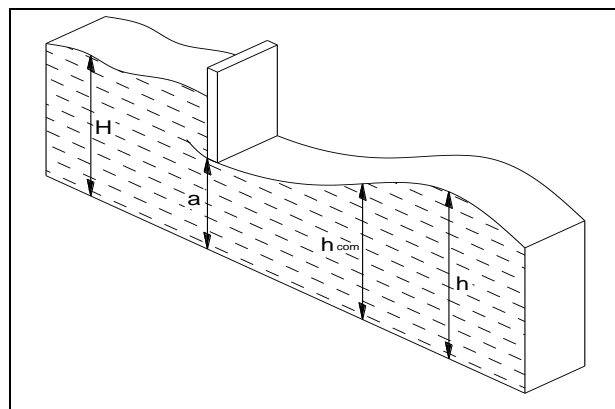
El ancho del desripeador se calcula mediante el empleo de la ecuación:

$$Ad = 1,2 * b_2 \quad (87)$$

$$Ad = 14,61 \text{ m [47,95 ft]}$$

**5.3.1.5 Cálculo de la compuerta de lavado [9].** Ésta compuerta tiene su propio diseño, pero si aplicásemos la formula tal como es, los resultados seria unas dimensiones muy reducidas, por lo que es conveniente asumir experimentalmente unas dimensiones y a partir de estas comprobar si se encuentran dentro de los rangos correctos.

**Figura 55.** Esquema del caudal y dimensiones en la compuerta de lavado



**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

Para lo cual es recomendable tomar el caudal que vaya a pasar por la compuerta un porcentaje mayor al caudal a captar, para lo cual nos ayudaremos de la expresión:

$$Q_{com} = K * e * a * b_c * \sqrt{2g * \left( H' + \frac{v^2}{2g} - e * a \right)} \quad (88)$$

Dónde:

- ✓  $K$  = Constante entre 0.95 – 0.97.
- ✓  $a$  = Apertura de la compuerta [m].
- ✓  $b_c$  = Ancho de la compuerta [m].
- ✓  $e$  = Coeficiente dado en función de  $a/H$ .
- ✓  $H'$  = Altura del nivel de agua en el desrieador. [m].
- ✓  $v$  = Velocidad del caudal. [m/s].
- ✓  $g$  = Aceleración de la gravedad. [ $9.81\text{m/s}^2$ ].

Ya que la altura  $H$  dentro del desrieador fue considerada un valor de 2,2 m [86,61 in], entonces nos asumiremos un valor de apertura de la compuerta de 1,8 m [70,87 in] y un ancho de compuerta de 2 m [78,74 in].

Para calcular el coeficiente  $e$ , es necesario determinar la relación existente entre  $a$  y  $H$ :

$$\frac{a}{H} = 0,72$$

Entonces una vez obtenida esa relación, podemos encontrar el coeficiente  $e$ , dirigiéndonos al Anexo H.

Es evidente que la relación obtenida en nuestras condiciones no coincide con los valores que se muestran, es por ello que es necesario realizar una iteración, por lo que hemos obtenido un valor de  $e=0,72$

Un vez que hemos obtenido todos los parámetros necesarios, procedemos a remplazarlos en la expresión 88, con lo cual tendremos:

$$Q_{com} = K * e * a * b_c * \sqrt{2g * \left( H' + \frac{v^2}{2g} - e * a \right)}$$

$$Q_{com}=10,77 \text{ m}^3/\text{s}$$

El valor obtenido del caudal, es superior al caudal de captación, lo que nos da la certeza que las dimensiones propuestas para la compuerta son las adecuadas.

Para que la compuerta cumpla con su objetivo, el canal debe tener una pendiente elevada, la misma que se determina con la ayuda de la expresión:

$$j_c = \frac{v^2 n^2}{R^3} \quad (89)$$

Dónde:

- ✓  $v$ = Velocidad del agua [m/s]
- ✓  $n$ = Coeficiente de rugosidad (en función del material de la superficie).
- ✓  $R$ = Radio hidráulico [m].

Como se mencionó anteriormente el coeficiente de rugosidad, está en función del material de superficie como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 11.** Coeficiente  $n$  de rugosidad.

Material del Cauce	Mínimo	Medio	Máximo
Roca áspera	*****	0,0400	0,0450
Roca igualadas las asperezas	0,0200	0,0330	0,0350
Canales grandes en buen estado	0,0200	0,0225	0,0250
Canales grandes en estado regular	0,0230	0,0250	0,0270
Canales grandes en mal estado	0,0250	0,0275	0,0300
Canales malos semi derrumbados	0,0280	0,0300	0,0330
Canal irregular con vegetación	0,0330	0,0350	0,0400
Madera cepillada	0,0100	0,0130	0,0140
Madera sin cepillar	0,0120	0,0150	0,0180
Hormigón sin alisado con buen encofrado	0,0130	0,0140	0,0150
Hormigón con huellas de tablas	0,0150	0,0160	0,0180
Hormigón alisado	0,0110	0,0120	0,0130
Mampostería piedra	0,0170	0,0225	0,0300
Gaviones	0,0250	0,0270	0,0320
Ladrillo enlucido	0,0120	0,0150	0,0170

Para nuestras condiciones existentes de un fondo en donde se encuentran piedras que simularan a canales grandes en estado regular, tendremos un coeficiente de rugosidad de:

$$n = 0,025$$

Los siguientes parámetros pueden ser determinados de la siguiente manera:

**a) Radio hidráulico [9]**

$$R = \frac{A_c}{P_m} \quad (90)$$

Dónde:

✓  $A_c$  = Sección del Caudal [ $m^2$ ].

✓  $P_m$  = Perímetro Mojado [m].

Procedemos a hallar la sección del caudal y el perímetro mojado, nos referiremos a las siguientes expresiones:

$$A_c = a * b \quad (91)$$

$$A_c = 1,8 \text{ m} * 2 \text{ m}$$

$$A_c = 3,6 \text{ m}^2 [38,75 \text{ ft}^2]$$

Para encontrar el perímetro mojado asumimos una altura del desripeador de:

$$b = 3 \text{ m} [118,11 \text{ in}]$$

Entonces se tiene:

$$P_m = a + 2b * \sqrt{1 + m^2} \quad (92)$$

Dónde:

✓  $m$  = Talud de las paredes para un suelo semi rocoso (Tabla 12).

**Tabla 12.** Valores de m para diferentes tipos de suelos

Materiales	Valores de m	
	Bajo Agua	Sobre Agua
Arenas finas	3,0 - 3,5	2,5
Suelos limo arenosos	2,0 - 2,5	2
Suelos limo arcillosos	1,5 - 2	1,5
Arenas gruesas y gravas	1,0 - 1,5	1
Arcillas comunes y loes	1,0 1,5	1
Arcillas compactas	1,0 - 1,25	0,5 - 1,0
Suelo semi rocoso	0,25 - 1,0	0- 0,25
Suelo rocoso	0,1 - 0,5	0 - 0,25

**Fuente:** KROCHIN,S. Diseño Hidráulico

$$P_m = 41,97 \text{ m [137,7 ft]}$$

Remplazamos los parámetros obtenidos en la expresión 5.90 tendremos:

$$R = \frac{Ac}{P_m}$$

$$R = 0,09 \text{ m [3,38ft]}$$

Es decir que tendremos una pendiente del canal de:

$$j_c = \frac{v^2 n^2}{R^3}$$

$$j_c = 0,02$$

#### 5.3.1.6 Cálculo de la transición entre el desrieador y canal [9]

$$L_{tr} = 0,3 * L_d \quad (93)$$

Dónde:

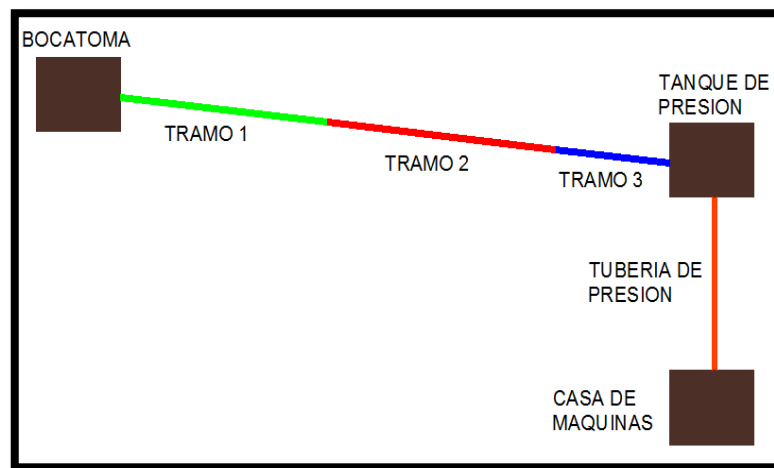
✓  $L_d$  = Longitud del desripeador [m]

$$L_d = 6,53 \text{ m [21,42 ft].}$$

#### 5.4 Diseño del sistema de conducción

El diseño de la conducción es de mucha importancia y necesita un análisis minucioso, ya que calcularemos las dimensiones principales y elementos de conducción, las pérdidas existentes y la pendiente necesaria para que el agua fluya sin problemas, pero a todo ello deberemos considerar el factor económico, ya que mientras más obras civiles y longitudes de conducción tengamos, los valores se incrementaran, es por eso que se deberá mantener un equilibrio entre lo técnico y lo económico.

**Figura 56.** Esquema general del proyecto.



**Fuente:** Autores

El caudal aprovechado será conducido hacia un tanque de presión, por lo que mediante el estudio topográfico realizado en la zona de influencia, se ha determinado la necesidad de la construcción de obras civiles importantes en tres diferentes tramos, como se muestra en la figura 56, mismos que a continuación presentaremos diferentes alternativas en su construcción.

**Tabla 13.** Alternativas del trazado de conducción.

	<b>TRAMO 1</b>	<b>TRAMO 2</b>	<b>TRAMO 3</b>
<b>ALTERNATIVA 1</b>	Canal Abierto	Túnel	Canal Abierto
<b>ALTERNATIVA 2</b>	Tubería	Túnel	Tubería
<b>ALTERNATIVA 3</b>	Canal Abierto	Túnel	Tubería

**Fuente:** Autores

Las longitudes de cada uno de los tramos se detallan a continuación:

**Tabla 14.** Longitudes de tramos de conducción.

	<b>Longitud de Trazado</b>
<b>TRAMO 1</b>	91,31 m [299,57ft]
<b>TRAMO 2</b>	1730 m [5.675,85ft]
<b>TRAMO 3</b>	845,71 m [2.774,64 ft]

**Fuente:** Autores

Ya que el agua conducida aun mantendrá sólidos en suspensión<sup>2</sup>, se debe tomar en cuenta la construcción de un desarenador que se encargue de eliminarlos, el cual se ubicará después del desripeador antes del tanque de presión.

Como se muestra en la Tabla 13, la única alternativa posible de obra de conducción en nuestro tramo 2, será el de un túnel de conducción, es por ello que el diseño de las obras de conducción se empezará por éste.

---

<sup>2</sup> Son partículas sólidas pequeñas, que están inmersas en un fluido con flujo turbulento



**5.4.1** *Túnel de conducción [10].* Los túneles en obras de conducción es generalmente utilizada cuando mediante el estudio topográfico, se detecta condiciones del terreno como:

- ✓ Cuando la conducción de agua de un valle a otro, atraviesa zonas montañosas.
- ✓ Cuando con la construcción de un túnel, se evite la construcción de tramos muy largos de canal abierto logrando acortar costos.

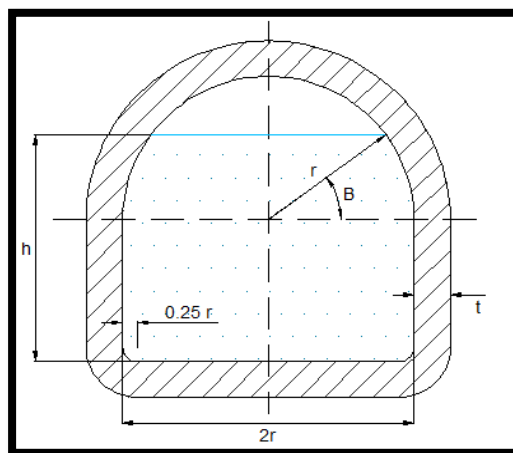
Existen diferentes formas en que un túnel pueda trabajar, ya sea a presión o gravedad siendo la segunda una de las más utilizadas en conducción de agua el cual poseerá una superficie libre.

Es conveniente que el trazado del túnel siga la distancia más corta entre las zonas de captación y el tanque de entrega, pero una serie de consideraciones topográficas, geológicas y económicas hacen que la alineación del mismo se aparte de una línea recta.

**5.4.1.1** *Diseño de la sección del túnel [10].* El diseño de la sección de un túnel deberá considerar que para un área dada, el caudal que pase por la misma sea el máximo y que las paredes de este puedan resistir las presiones generadas.

En el diseño del túnel deberemos analizar el estudio topográfico que se realizó en la zona y los parámetros que este nos pueda aportar.

**Figura 57.** Esquema de un túnel de sección tipo baúl.



**Fuente:** KROCHIN, S. Diseño hidráulico.

Como observamos en la figura 57 de la sección tipo baúl, los diferentes parámetros necesarios para su dimensionamiento son:

Dónde:

- ✓  $r$  = Radio de la bóveda.
- ✓  $B$  = Ángulo con la horizontal que hace el radio que toca la intersección de la superficie del agua con la bóveda.
- ✓  $h$  = Calado<sup>3</sup> del agua.
- ✓  $t$  = Espesor del revestimiento.

Para el dimensionamiento de este tipo de túneles deberemos ayudarnos de las siguientes expresiones:

#### **5.4.1.2** *Cálculo del área mojada [10].*

$$A_{moj} = 0,5r^2 \left( 3,9462 + \frac{\pi * B}{90} + \text{sen}(2B) \right)$$

$$A_{moj} = K_1 * r^2 \quad (94)$$

Dónde:

- ✓  $K_1$  = constante arbitraria.

#### **5.4.1.3** *Cálculo del perímetro mojado [3]*

$$P = r * \left( 3,785 + \frac{\pi * B}{90} \right)$$

$$P = K_2 * r \quad (95)$$

---

<sup>3</sup> Altura que posee el agua al momento de pasar por una Obra Civil de Conducción

Dónde:

✓  $K_2$ = Constante arbitraria.

#### **5.4.1.4** *Cálculo del radio hidráulico [3]*

$$R = \frac{A}{P} = \frac{K_1 * r^2}{K_2 * r}$$

$$R = K_3 * r \quad (96)$$

Dónde:

✓  $K_3$ = Constante arbitraria.

#### **5.4.1.5** *Cálculo de su caudal de diseño [10]*

$$Q = K_q * i^{1/2} \quad (97)$$

Dónde:

✓  $K_q$ = Constante arbitraria.

En donde tendremos que:

$$K_4 = \frac{K_q * n}{r^{8/3}} \quad (98)$$

Dónde:

✓  $K_4$ = Constante arbitraria.

Todas las constantes arbitrarias que se mencionaron anteriormente, las podemos encontrar en la siguiente tabla:

**Tabla 15.** Características hidráulicas de los túneles tipo baúl para distintos calados.

<b>h/r</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>
2,00	3,5439	6,9266	0,5116	2,266
1,99	3,5421	6,6441	0,5331	2,329
1,98	3,5387	6,526	0,5422	2,352
1,97	3,5342	6,4353	0,5491	2,369
1,96	3,529	6,359	0,5549	2,382
1,95	3,523	6,2915	0,559	2,38
1,94	3,5165	6,2304	0,5644	2,4
1,93	3,5094	6,174	0,5684	2,401
1,92	3,5018	6,1211	0,572	2,411
1,91	3,4937	6,0716	0,5754	2,415
1,90	3,4853	6,025	0,5784	2,418
1,89	3,4763	5,9797	0,5814	2,42
1,88	3,4671	5,9372	0,584	2,421
1,87	3,4573	5,8953	0,5865	2,421
1,86	3,4473	5,8557	0,5887	2,42
1,85	3,437	5,8174	0,5908	2,418
1,84	3,4261	5,7795	0,5928	2,416
1,83	3,4153	5,7435	0,5946	2,414
1,82	3,4039	5,708	0,5963	2,41
1,81	3,3924	5,6736	0,5979	2,406
1,80	3,3804	5,6393	0,5994	2,405

**Fuente:** KROCHIN, S. Diseño hidráulico.

Tratándose de este tipo de túneles que trabajan a gravedad, deberemos tomar muy en cuenta condiciones de seguridad, como que el calado no deba pasar del 85% de la altura total, sin que el franco o el espacio del aire sea menos a 40 cm.

Es decir se deberá cumplir la siguiente condición según la referencia [10]:

$$0,3 r > 0,40 \quad (99)$$

**5.4.1.6** *Cálculo de la altura total del interior del túnel [10].* En este tipo de túneles se debe procurar que su altura total del interior no sea menor a 1,80 metros.

$$H_{total} = \text{espacio de aire} + h \quad (100)$$

**5.4.1.7** *Cálculo del ancho total del interior del túnel [10].* En cuanto al ancho, por facilidad de construcción y movilidad de los trabajadores y maquinaria, es recomendable de que el ancho no sea menor a 1,20 metros.

$$A_t = 2 * r \quad (101)$$

**5.4.1.8** *Cálculo del área de excavación [10].* El área de excavación, será el área total de remoción de tierra que la maquinaria tendrá que remover, para ello se considerara el espesor del revestimiento, para así no afectar a las dimensiones finales del túnel.

$$A_{exc} = \frac{\pi}{2} (r + e)^2 + \{(h_{total} - r) * [2 * (r + e)]\} \quad (102)$$

Dónde:

✓ e= Espesor del recubrimiento [m].

**5.4.1.9** *Cálculo del área interior [10]*

$$A_{int} = \frac{\pi}{2} r^2 + [(h_{total} - r) * (2r)] \quad (103)$$

**5.4.1.10 Cálculo del área de revestimiento [10].** Para determinar los costos del recubrimiento en nuestro túnel, es conveniente conocer el área que este ocupara, para lo cual nos ayudaremos de la siguiente expresión:

$$A_{rev} = A_{exc} - A_{int} \quad (104)$$

**5.4.1.11 Cálculo de las pérdidas de carga existentes [11].** Por ser un sistema de conducción hidráulico, se considera que existen pérdidas de carga, para lo cual consideramos algunos parámetros encontrados en el estudio planímetro como:

**Tabla 16.** Información del tramo 1 de conducción.

PARAMETROS		POSICION GEOGRAFICA COORDENADAS UTM	
Altura de Inicio del Túnel	2626,7 m [8.619,32 ft]	X= 9831210,626 m	Y= 783012,43 m
Altura de final de Túnel	2625,55m [8.614,71 ft]	X= 9832828,853 m	Y= 782686,359 m

**Fuente:** Autores

Realizamos balance de energías, entre 1 y 2 analizando como punto 1 el inicio del túnel y como punto 2 el final de su trazado, entonces tendremos:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 - H_{rtotales} = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2 \quad (105)$$

Dónde:

- ✓  $P_1$  y  $P_2$ = Presiones total [Pa].
- ✓  $V_1$  y  $V_2$ = Velocidades del agua [m/s].
- ✓  $z_1$  y  $z_2$ = Alturas de los puntos de análisis [m].

✓  $H_{rtotales}^4$  = Pérdidas totales de carga existentes en el tramo [m].

Ahora para empezar a bosquejar nuestro túnel de conducción deberemos analizar la topografía con la cual contamos en la zona, la misma que podemos observar en el ANEXO J.

La zona geográfica de influencia posee numerosas irregularidades geológicas y geográficas, y con zonas rocosas, por lo que se hace necesaria la construcción de un túnel de conducción tipo baúl con revestimiento.

Para el revestimiento de nuestro túnel tomando en cuenta que generalmente, estos se realizan con encofrados metálicos que producen superficies bastante lisas, el coeficiente de rugosidad se considera entre  $n=0,013$  y  $n=0,015$  y el caudal en el túnel será constante, la velocidad de diseño estará entre 1,5 y 2,5 m/s

El caudal que pasara por el túnel será  $9,75 \text{ m}^3/\text{s}$ , por lo cual tomaremos una gradiente de 1:1200 es decir  $i=0,00066$ .

Para el dimensionamiento del túnel asumiremos la siguiente relación:

$$\frac{h}{r} = 1,95 \quad (106)$$

Entonces, a partir de esta relación deduciremos los demás parámetros, para lo cual determinaremos cada una de las constantes arbitrarias con la ayuda de la tabla 15, es decir tendremos:

✓  $K_1 = 3,523$

✓  $K_2 = 6,2915$

✓  $K_3 = 0,559$

✓  $K_4 = 2,38$

Una vez obtenidos nuestras constantes arbitrarias determinamos los otros parámetros como:

---

<sup>4</sup> Pérdidas de Energía en un sistema de conducción de agua, de longitud determinada.

a) *Cálculo del radio de la bóveda*

Para determinar el radio de la bóveda que tendrá nuestro túnel, nos ayudamos de la expresión 31, donde despejando tendremos:

$$K_4 = \frac{Kq * n}{r^{8/3}}$$
$$r = \sqrt[8/3]{\frac{Kq * n}{K_4}} \quad (107)$$

Para el cálculo de la constante Kq, utilizaremos la expresión 97, donde despejándola y remplazando valores queda:

$$Qd = Kq * i^{1/2}$$
$$Kq = \frac{Qd}{i^{1/2}} \quad (108)$$

$$Kq = \frac{9,75m^3 / s}{0,00066^{1/2}}$$

$$Kq = 379,52$$

Y está remplazando en la expresión 106, se tiene:

$$r = \sqrt[8/3]{\frac{Kq * n}{K_4}}$$
$$r = \sqrt[8/3]{\frac{379,52 * 0,015}{2,38}}$$
$$r = 1,39 \text{ m } [4,55 \text{ ft}]$$

Se verifica la condición 98, para que estando seguros de que nuestro radio de bóveda es el correcto, continuar con el cálculo de los demás parámetros según la referencia [10], entonces tenemos:



$$0,3 r > 0,40$$

$$0,42 > 0,40$$

Es decir, tendremos una distancia de 42 cm de espacio de aire, con lo el radio y la relación asumida son los correctos, y así garantizamos el cálculo de todos los parámetros se encuentren en el rango apropiado.

*b) Altura de calado del agua*

Ayudados de la relación 106, y remplazando el radio de la bóveda obtenido tendremos:

$$\frac{h}{r} = 1,95$$

$$h = 1,95 * r$$

$$h = 2,71 \text{ m } [8,88 \text{ ft}]$$

*c) Área mojada*

$$A_{moj} = K_1 * r^2$$

$$A_{moj} = 3,523 * 1,39^2$$

$$A_{moj} = 6,79 \text{ m}^2$$

*d) Perímetro mojado*

$$P = K_2 * r$$

$$P = 6,2915 * 1,39$$

$$P = 8,73 \text{ m } [28,65 \text{ ft}].$$

*e) Radio hidráulico*

$$R = K_3 * r$$

$$R = 0,559 * 1,39$$

$$R = 0,7759 \text{ m [30,55 in].}$$

f) *Altura total del interior del túnel*

$$H_{\text{total}} = \text{espacio de aire} + h$$

$$H_{\text{total}} = 0,42 + 2,71 \text{ [m]}$$

$$H_{\text{total}} = 3,12 \text{ m [10,25 ft]}$$

g) *Ancho total del interior del túnel*

$$A_t = 2 * r$$

$$A_t = 2 * 1,39 \text{ [m].}$$

$$A_t = 2,78 \text{ m [9,11 ft].}$$

Como se observa las dimensiones del túnel tanto en lo largo y ancho son las apropiadas, ya que aseguran una facilidad de construcción, movilidad de trabajadores y maquinaria.

h) *Área de excavación*

Para determinar el área de excavación necesaria para no afectar las dimensiones iniciales del túnel de conducción, tomaremos en cuenta el espesor de nuestro recubrimiento, para lo cual es recomendable utilizar un valor de  $e=0,08$  metros según referencia [10].

$$A_{\text{exc}} = \frac{\pi}{2} (r + e)^2 + \{(H_{\text{total}} - r) * [2 * (r + e)]\}$$

$$A_{\text{exc}} = \frac{\pi}{2} (1,39 + 0,08)^2 + \{(3,12 - 1,39) * [2 * (1,39 + 0,08)]\}$$

$$A_{\text{exc}} = 8,76 \text{ m}^2$$

i) *Área interior*

$$A_{int} = \frac{\pi}{2} r^2 + [(h_{total} - r) * (2r)]$$

$$A_{int} = \frac{\pi}{2} 1,39^2 + [(3,12 - 1,39) * (2 * 1,39)]$$

$$A_{int} = 7,84 \text{ m}^2$$

j) *Área de revestimiento*

$$A_{rev} = A_{exc} - A_{int}$$

$$A_{rev} = 8,76 - 7,84 [\text{m}^2]$$

$$A_{rev} = 0,91 \text{ m}^2$$

Para el cálculo de la velocidad con que el agua fluirá por el túnel, utilizaremos la expresión:

$$V = \frac{Q}{A_{moj}} \quad (109)$$

$$V = \frac{9,75 \text{ m}^3 / \text{s}}{6,79 \text{ m}^2}$$

$$V = 1,44 \text{ m/s.}$$

k) *Pérdidas de carga existentes*

Analizando la expresión 104, podemos deducir que las presiones en los puntos de análisis serán iguales, ya que el principio de funcionamiento de nuestro túnel es el de gravedad.

Ya que durante el trazado del túnel, este no cambiara su sección, la velocidad del agua en todo su trayecto será constante.

En la construcción de túneles no es necesaria la colocación de ningún tipo de accesorios, las pérdidas de carga existentes solo serán primarias, por lo que nuestra expresión es la siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 - H_{rprim} = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2$$

$$H_{rprim} = z_1 - z_2$$

$$H_{rprim} = 2627,17 - 2626,02[m]$$

$$H_{rprim} = 1,15 \text{ m } [3,77 \text{ ft}].$$

**5.4.2** *Canal de conducción [9].* Una de las alternativas manejadas en la conducción es mediante un canal abierto a la atmosfera, donde el flujo seguirá siendo uniforme, es decir tendrá un calado y una velocidad igual a lo largo de la conducción.

**Figura 58.** Ejemplo gráfico de un canal abierto de conducción.



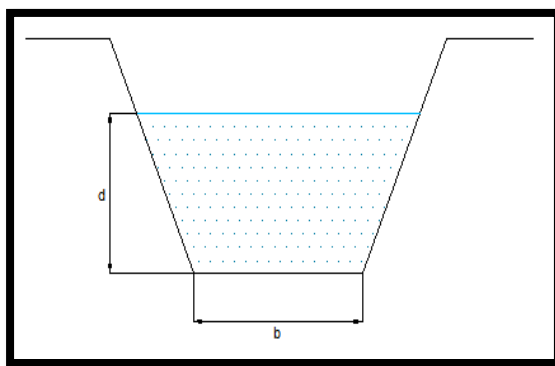
**Fuente:** [http://www.cerpch.unifei.edu.br/sp/canal\\_adu\\_conduto\\_for.php](http://www.cerpch.unifei.edu.br/sp/canal_adu_conduto_for.php)

Como ya se mencionó en capítulos anteriores, existen diferentes formas de secciones de canales abiertos, pero en nuestro caso se ha creído conveniente la realización de un canal abierto de sección trapezoidal con revestimiento.

Uno de los parámetros importantes a conocer será el trazado que tendrá el canal, para ello es indispensable un estudio topográfico de la zona de influencia.

**5.4.2.1** *Pre-diseño del canal abierto de conducción [9].* Como podemos observar en la figura 59, las dimensiones principales para el diseño de un canal será su ancho  $b$  y el tirante del canal  $d$ , las cuales se las encontraran con la ayuda de las siguientes expresiones:

**Figura 59.** Esquema de un canal abierto.



**Fuente:** Autores

**5.4.2.2** *Cálculo del caudal de diseño [9].* Ya que el canal es abierto a la atmosfera, es indispensable por condiciones de seguridad aumentar un porcentaje al caudal de diseño, es por ello que tendremos:

$$Q_s = 1,2 * Q_d \quad (110)$$

Dónde:

- ✓  $Q_s$ =Caudal de diseño para el canal [ $m^3/s$ ].
- ✓  $Q_d$ = Caudal de captación [ $m^3/s$ ].

**5.4.2.3** *Cálculo de la velocidad de diseño de conducción [9].* La velocidad de diseño del agua que tendrá el canal abierto, será la misma con que salga de la anterior obra civil, ya que es la continuación de una obra diferente de conducción.

**5.4.2.4** *Cálculo de la sección requerida [9]*

$$A = \frac{Q_s}{V} \quad (111)$$

Dónde:

✓ V=Velocidad de diseño del agua para el canal [m<sup>3</sup>/s].

**5.4.2.5** *Cálculo del tirante del canal [9]*

$$d = 0,75984\sqrt{A} \quad (112)$$

Dónde:

✓ d= Tirante del canal de conducción [m].

**5.4.2.6** *Cálculo de la altura total del canal [3]*

$$H = \sqrt{\frac{A}{2 * \sqrt{(1 + z^2)} - z}} \quad (113)$$

Dónde:

✓ z = Talud de las paredes (para 80° z=0.18)

**5.4.2.7** *Cálculo del ancho de la plantilla del canal [3]*

$$b = H * (2 * \sqrt{1 + z^2} - 2z) \quad (114)$$

Dónde:

✓  $z$  = Talud de las paredes (para  $80^\circ$   $z=0.18$ )

#### **5.4.2.8** *Cálculo del ancho superior del canal [9]*

$$B = b + 2H * z \quad (115)$$

Dónde:

✓  $b$  = Ancho inferior del canal de conducción [m].

#### **5.4.2.9** *Cálculo del perímetro mojado [9]*

$$P_m = b + 2d\sqrt{1 + z^2} \quad (116)$$

Dónde:

✓  $z$  = Talud de las paredes (para  $80^\circ$   $z=0.18$ )

#### **5.4.2.10** *Cálculo del radio hidráulico [9]*

$$R = \frac{A}{P_m} \quad (117)$$

**5.4.2.11** *Cálculo del gradiente del canal [9]*. El gradiente  $j$  del canal abierto de sección trapezoidal, será aquel que nos asegurara que el agua fluirá con total normalidad sobre nuestro canal.

**5.4.2.12 Cálculo de la velocidad real en el canal [9].** Para poder encontrar la velocidad real con que el agua fluirá por el canal, nos ayudaremos de la ecuación según Chezy – Manning, en la que dice:

$$V_{\text{real}} = \frac{1}{n} * R^{2/3} * j^{1/2} \quad (118)$$

Dónde:

✓  $n$  = Coeficiente para un canal con recubrimiento (Ver tabla 17).

**Tabla 17.** Coeficiente  $n$  de rugosidad para diferentes materiales de recubrimiento.

Material del cauce	Mín.	Med.	Máx.
Roca áspera	—	0.040	0.045
Roca igualadas las asperezas	0.020	0.033	0.035
Canales grandes en buen estado	0.020	0.0225	0.025
Canales grandes en estado regular	0.023	0.025	0.027
Canales grandes en mal estado	0.025	0.0275	0.030
Canales malos semiderrumbados	0.028	0.030	0.033
Canal irregular con vegetación	0.033	0.035	0.040
Madera cepillada	0.010	0.013	0.014
Madera sin cepillar	0.012	0.015	0.018
Hormigón sin alisado con buen encofrado	0.013	0.014	0.015
Hormigón con huellas de tablas	0.015	0.016	0.018
Hormigón alisado	0.011	0.012	0.013
Mampostería, piedra	0.017	0.0225	0.030
Gaviones	0.025	0.027	0.032
Ladrillo enlucido	0.012	0.015	0.017

Esta velocidad deberá cumplir con la condición de no exceder a la velocidad máxima permitida, la misma que podemos encontrar en la tabla 5.10, es decir:

$$V_{\text{real}} \leq V_{\text{max}} \quad (119)$$



**Tabla 18.** Velocidades máximas del agua de conducción en función del material del canal abierto .

TIPO DE SUELO	Vmax m/s	
	Agua Limpia	Material en Suspensión
Arena Fina (0,02 - 0,2mm)	0,30	0,40
Arena Media (0,2 - 0,5 mm)	0,35	0,50
Arena gruesa (2 - 5 mm)	0,45	0,65
Grava muy arenosa	0,60	0,80
Limo compacto (natural)	0,70	1,00
Grava media (5 - 20 mm)	0,80	1,15
Tierra arcilla grasosa (natural)	1,00	1,30
Grava gruesa, piedras (20 - 50 mm)	1,40	1,60
Piedras (50 - 75 mm)	1,70	1,80
Cantos rodados (75 - 100 mm)	1,90	2,00
TIPO DE REVESTIMIENTO		
Concreto (material en suspensión, mucha arena)		2,00
Concreto (agua sin arena)	4,00	
Mampostería con piedras sentadas y mortero	5,00	

**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas centrales hidroeléctricas

**5.4.2.13** *Cálculo de las pérdidas de carga existentes [8].* Al igual que en el tramo anterior de conducción, el sistema de conducción hidráulico, tendrá pérdidas de carga, las mismas que para calcularlas consideraremos los siguientes parámetros como:

**Tabla 19.** Información del tramo 2 de conducción.

PARÁMETROS		POSICIÓN GEOGRÁFICA COORDENADAS UTM	
Altura de Inicio del Tramo 1	2626,71m [8.617,81 ft]	X= 9831121,971 m	Y= 783015,279 m
Altura Final de Tramo 1	2626,7 m [8.617,78 ft]	X= 9831210,626 m	Y= 783012,436 m
Altura de Inicio del Tramo 3	2625,55m [8.614,01 ft]	X= 9832828,853 m	Y= 782686,359 m
Altura Final de Canal Tramo 3	2624,98m [8.612,14 ft]	X= 9833152,473 m	Y= 782014,211 m

**Fuente:** Autores

Realizamos el balance de energías, analizando como punto 1 el inicio del canal abierto y como punto 2 el final de su trazado, es así que tendremos:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 - H_{rtotales} = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2 \quad (120)$$

Dónde:

- ✓  $P_1$  y  $P_2$ = Presiones total [Pa].
- ✓  $V_1$  y  $V_2$ = Velocidades del agua [m/s].
- ✓  $z_1$  y  $z_2$ = Alturas de los puntos de análisis [m].
- ✓  $H_{r \text{ totales}}$ = Pérdidas totales de carga existentes en el tramo [m].

Luego de conocer el trazado que tendrán los tramos de conducción, los cual podemos observar los Anexos K y L , determinamos el caudal de diseño que será conducido, el cual es de 9,7 m<sup>3</sup>/s de agua

El cálculo de los parámetros necesarios para el dimensionamiento del canal será:

**a) Caudal de seguridad**

$$Q_s = 1,2 * Q_d$$

$$Q_s = 1,2 * 9,7$$

$$Q_s = 11,7 \text{ m}^3/\text{s}.$$

**b) Velocidad de diseño**

La velocidad de diseño del canal de conducción, será la misma con la que sale el agua del primer tramo de conducción, es decir su valor será de 1,44 m/s.

**c) Sección requerida**

$$A = \frac{Q_s}{V}$$

$$A = \frac{11,7}{1,44}$$

$$A = 8,14 \text{ m}^2$$

**d) Tirante del canal**

$$d = 0,75984 \sqrt{A}$$

$$d = 0,75984 \sqrt{8,14}$$

$$d = 2,17 \text{ m [7,11 ft]}$$

**e) Cálculo de la altura total del canal [3]**

$$H = \sqrt{\frac{A}{2 * \sqrt{(1 + z^2)} - z}}$$

$$H = \sqrt{\frac{8,14}{2 * \sqrt{(1 + 0,18^2)} - 0,18}}$$

$$H = 2,09 \text{ m [6,82 ft]}$$

Ya que la altura de tirante de canal es mayor a la encontrada, tomaremos una altura de canal de 2.7 m [8.86 ft].

*f) Cálculo del ancho de la plantilla del canal*

$$b = H * (2\sqrt{1 + z^2} - 2z)$$

$$b = 1,77 \text{ m [5,81ft]}$$

*g) Cálculo del ancho superior del canal [9]*

$$B = b + 2H * z$$

$$B = 2,74 \text{ m [9 ft]}.$$

*h) Perímetro mojado*

Para encontrar la pendiente m del talud para canales de sección trapezoidal referiremos a la tabla 12.

$$Pm = b + 2d\sqrt{1 + m^2}$$

$$Pm = 2,48 + 2 * 2,17\sqrt{1 + 1^2}$$

$$Pm = 7,92 \text{ m [25,97ft]}.$$

*i) Radio hidráulico*

$$R = \frac{A}{P_m}$$

$$R = \frac{8,14}{7,92}$$

$$R = 1,03 \text{ m [3,37 ft]}$$

*j) Gradiente del canal*

El gradiente  $j$  del canal abierto conservara el gradiente utilizado en la zona 1 de conducción, es decir 1:1200, entonces tendremos:

$$j = 0,00066$$

*k) Velocidad real en el canal*

De la tabla 17, observamos que el coeficiente de rugosidad, para recubrimientos de hormigón aislado es igual a:

$$n = 0,012$$

De dónde:

$$V_{\text{real}} = \frac{1}{n} * R^{2/3} * j^{1/2}$$

$$V_{\text{real}} = \frac{1}{0,012} * 1,03^{2/3} * 0,006^{1/2}$$

$$V_{\text{real}} = 2,18 \text{ m/s}$$

Verificando la condición propuesta en la expresión 117, y dirigiéndonos a la tabla 18 sabiendo que el material de nuestro canal, será concreto para agua con poca presencia de partículas en suspensión, tendremos que:

$$V_{\text{real}} \leq V_{\text{max}}$$

$$2,18 \text{ m/s} \leq 4 \text{ m/s} \quad \mathbf{OK}$$

Es decir el dimensionamiento de nuestro canal es el adecuado.

*l) Pérdidas de carga existentes*

Para calcular las pérdidas existentes en el primer y tercer tramo de conducción, consideraremos como puntos de análisis, el inicio y final del trazado del canal respectivamente, por lo cual los valores de las presiones totales serán iguales.

Como la sección del canal será constante durante todo el trazado, no existirán variación de las velocidades.

Tanto el inicio del canal abierto como el final del trazado se encuentran en diferentes niveles, debido a la existencia de un gradiente, que ayude a la normal fluidez del agua, estos parámetros se encuentran detallados en la Tabla 19.

En la conducción por canal abierto, no es necesaria la adición de accesorios hidráulicos, las pérdidas de carga serán por longitudes de canal o las llamadas pérdidas primarias.

Entonces el cálculo de balance de energías en:

- **Tramo 1.**

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 - H_{\text{rtotales}} = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2$$

$$H_{\text{rprim}} = z_1 - z_2$$

$$H_{\text{rprim}} = 2626,71 - 2626,7 \text{ m.}$$

$$H_{\text{rprim}} = 0,01 \text{ m [0,03ft].}$$

- **Tramo 3.**

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 - H_{rtotales} = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2$$

$$H_{rprim} = z_1 - z_2$$

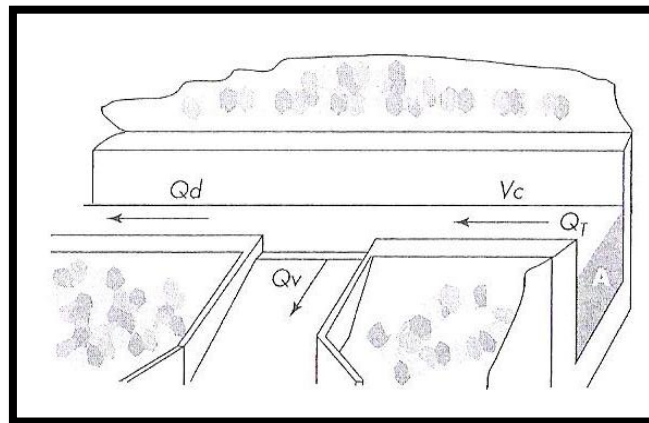
$$H_{rprim} = 2625,55 - 2624,98 \text{ m.}$$

$$H_{rprim} = 0,57 \text{ m [1,87ft].}$$

**5.4.2.14 Diseño del aliviadero [9].** Uno de los inconvenientes principales que ocurre cuando se construye canales abiertos, es la presencia de la lluvia o un bloqueo total del canal; producido por deslizamientos de tierra. Son las aguas de exceso en el canal que aumentaran el caudal de diseño, produciéndose derramamientos de agua sobre las laderas.

Pero con la construcción de un aliviadero, logramos evitar este inconveniente.

**Figura 60.** Esquema de un aliviadero en un canal abierto.



**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas centrales hidroeléctricas

Para el diseño de un aliviadero, se asumen condiciones críticas, es decir que en una obstrucción total del canal, el aliviadero evacue todo el caudal de diseño, es decir que:

$$Q_v = 9,75 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dónde:

- $Q_v$ = Caudal del vertedero [ $m^3/s$ ].

Es importante definir que nuestro aliviadero, funcionara como un vertedero y estará ubicado solo en el Tramo 3 que tiene una longitud de conducción considerable, por lo que podrá tener diferentes formas de crestas<sup>5</sup>, como se muestra en el Anexo E.

Cuando trabajamos con casos críticos, el aliviadero se comportara como un vertedero frontal, y para el cálculo de sus dimensiones principales, nos ayudaremos de la siguiente expresión:

$$Q_v = \frac{2}{3} * M * B * \sqrt{2g} * H^{3/2} \quad (121)$$

Dónde:

- $Q_v$ = Caudal del vertedero [ $m^3/s$ ].
- $M$ = Coeficiente de cresta del vertedero (Ver Anexo E)
- $B$ = Longitud del aliviadero [m].
- $H$ = Altura del vertedero [m].

El aliviadero a diseñar tendrá una cresta redondeada, por lo cual su coeficiente  $M$  será igual a:

$$M = 0,70 - 0,75$$

Tomamos un valor medio de:

$$M = 0,725$$

Remplazando datos en nuestra expresión 49, tendremos:

---

<sup>5</sup> Forma Geométrica que puede tener el Vertedero en su extremo.



$$Q_v = \frac{2}{3} * M * B * \sqrt{2g} * H^{3/2}$$

$$9,75 = \frac{2}{3} * 0,725 * B * \sqrt{2 * 9,81} * H^{3/2}$$

$$H^{3/2} = \frac{4,55}{B} \quad (122)$$

Con la expresión 120 elaboramos una tabla de alternativas posibles para las dimensiones de nuestro aliviadero, siendo recomendable que su ancho debe ser considerablemente mayor a su altura, es decir tendremos:

**Tabla 20.** Dimensiones principales del aliviadero.

<b>Caudal de Diseño</b> [m³/s]	<b>Coef. M</b>	<b>H</b> [m]	<b>B</b> [m]
9,75	0,725	0,69	8
9,75	0,725	0,64	9
9,75	0,725	0,59	10
9,75	0,725	0,56	11
9,75	0,725	0,53	12
9,75	0,725	0,50	13

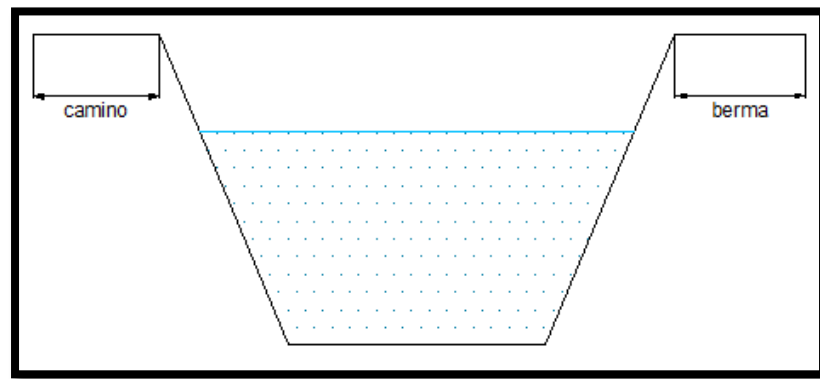
**Fuente:** Autores

Analizando los resultados obtenidos en la tabla 20, podemos concluir que la mejor opción para nuestras dimensiones finales del aliviadero será:

- LONGITUD DEL ALIVIADERO B = 10 m [32,81ft].
- ALTURA DEL ALIVIADERO H = 0,59 m [1,95ft].

**5.4.2.15 Obras complementarias en el canal.** En el dimensionamiento de canales, este deberá tener una berma para recoger aguas lluvias o si pequeños derrumbes se produjesen, estos se alojen en ella, además se plantea la construcción de un camino que facilitará en un principio la construcción del canal, paso de maquinaria y trabajadores y para luego ser utilizado en el mantenimiento de este como se muestra en la figura 61.

**Figura 61.** Esquemas de obras complementarias en el canal.



**Fuente:** Autores

El dimensionamiento de estos, dependerá exclusivamente del criterio de ingeniería, es por ello que se ha tomado los siguientes valores:

- ANCHO DE LA BERMA = 1 m [3,28 ft].
- ANCHO DEL CAMINO PARA MANTENIMIENTO = 5 m [16,40ft].

**5.4.2.16 Altura de seguridad [10].** En construcciones de canales, se deberá proveer una altura de seguridad al canal de conducción, que permita evitar el desbordamiento del agua por efecto de olas o aumento de nivel.

Esta altura de seguridad se ubica entre 5 y 30% del calado presente en nuestro canal, o si se tendrá más de dos aliviaderos en el tramo de conducción se podrá utilizar la siguiente expresión:

$$S = (j * L) + H + C = 0,005 \quad (123)$$

Dónde:

- S= Altura de seguridad [m].
- j= Pendiente longitudinal del canal.
- L= Longitud entre aliviaderos [m].
- C= Altura de la onda de transición [m].

Pero por razones económicas, se dice que la altura de seguridad será según la referencia 9.

$$S = 0,3 * d \quad (124)$$

$$S=0,65 \text{ m [2,13ft]}$$

Es decir nuestro canal tendrá una altura total de:

$$HT_{\text{canal}} = d + S \quad (125)$$

$$HT_{\text{canal}} = 2.7 \text{ m [8,95ft]}$$

Si comparamos los resultados obtenidos con los hallados con la ecuación 113, se recomienda tomar una altura de canal abierto de 2,7 m [8,95 ft]

**5.4.3** *Tubería de conducción [12].* Vale recordar que en las alternativas manejas, se plantea la posibilidad de utilización de una tubería de conducción tanto en el tramo 1 como en el tramo 3, es por ello que se hace imprescindible el análisis en cada uno de ellos.

**Figura 62.** Ejemplo de una tubería de conducción de agua.



**Fuente:**<http://iesmonre.educa.aragon.es/alumnos0708/aguajiloca/galeriazud>

Mediante el estudio topográfico se determinó las características de cada uno de los tramos, en la cual observamos que en el tramo 1 se tendrá una diferencia de niveles aproximadamente de 0,01 m[0,03 ft], con una longitud de conducción de 84,92 m[278,61ft], mientras que el tramo 2 tendrá una diferencia de nivel de 0,57m[1,87ft] y una longitud de tubería de 847,87 m[2.781,73 ft]

Los tramos de conducción no poseen accesorios, ya que en el trazado de ellos las curvas poseen grandes radios, por lo que no se considera la existencia de pérdidas en accesorios.

**5.4.3.1 Selección del diámetro de la tubería de conducción [11].** Para la selección de el diámetro de tubería, se realiza un análisis de balance de energías en cada uno de los tramos entre la diferencia de niveles de los puntos a ser analizados, por ello se realiza el análisis individual para cada uno de los tramos.

El diámetro de la tubería será el correcto una vez que se demuestre que el caudal que pase por ella sea mayor al caudal de diseño<sup>6</sup>.

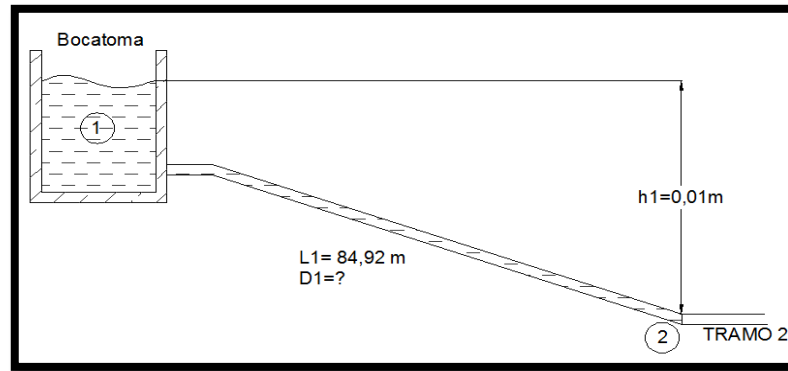
---

<sup>6</sup> Se debe aumentar un 20% al Caudal de Captación como medida de seguridad, es decir nuestro caudal de seguridad será 11,64 m<sup>3</sup>/s

Realizando el análisis en cada tramo tendremos los siguientes esquemas gráficos:

- **Tramo 1**

**Figura 63.** Esquemas de conducción del tramo 1.



**Fuente:** Autores

Como se observa en la figura 63, el esquema de conducción del Tramo 1, el sistema se reduce al análisis de la Bocatoma que actuara como un tanque a la atmosfera y al punto final del trazado de tubería que estará a presión atmosférica, entonces tendremos:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z1 - H_T = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z2 \quad (126)$$

Dónde:

- $P_1$  y  $P_2$ = Presiones totales [Pa].
- $V_1$  y  $V_2$ = Velocidades del agua en los puntos [m/s].
- $z_1$  y  $z_2$ = Alturas de los puntos de análisis [m].
- $H_T$ = Pérdidas totales de carga en longitud de tubería [m].

Estableciendo cada una de las variables, consideramos como el nivel de referencia el punto 2, es decir se tendrá una diferencia de niveles de 0,01 m [0,03 ft].

El sistema funcionara a presión atmosférica y por último que en el punto 1 la velocidad se considera nula, entonces la expresión 126 nos queda:

$$z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + H_{\text{TOTALES}} \quad (127)$$

Donde  $V_2$  podremos remplazarla por la expresión:

$$V_2 = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d^2} \quad (128)$$

Dónde:

- $Q$ = Caudal de diseño de la tubería [ $\text{m}^3/\text{s}$ ].
- $d$ = Diámetro interno de la tubería [ $\text{m}$ ].

Al analizar las diferentes perdidas de carga que existirán a lo largo de nuestra tubería de conducción, se tomara en cuenta las pérdidas de carga por longitud de tubería y las pérdidas de forma o por la presencia de accesorios.

Las pérdidas primarias o por longitud de tubería se calcularan con la ayuda de la ecuación de Darcy:

$$h_{\text{prim}} = \left( \frac{\lambda L}{d} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g * d^4} \quad (129)$$

Dónde:

- $\lambda$  = Coeficiente de pérdidas primarias.
- $L$  = Longitud de la tubería en cada tramo [ $\text{m}$ ].
- $V$  = Velocidad del flujo [ $\text{m/s}$ ].

El coeficiente de pérdidas primarias  $\lambda$ , está en función de la Rugosidad Relativa y su Número de Reynolds.

Con la ayuda del Diagrama de Moddy (Anexo N) determinamos  $\lambda$ .

La Rugosidad Relativa ( $\epsilon/d$ ), se la deduce mediante la relación de la rugosidad absoluta del material, en nuestro caso se lo tomará para tuberías de PRFV, las mismas que poseen características similares a las tuberías lisas<sup>7</sup>, para el diámetro interno de la tubería.

El número de Reynolds se calcula con la utilización de la siguiente expresión:

$$Re = \frac{Q_s * d}{A * \nu} \quad (130)$$

Dónde:

- $Q_s$  = Caudal de seguridad [ $m^3/s$ ].
- $A$  = Área de contacto del fluido [ $m^2$ ]
- $d$  = Diámetro interno de la tubería de PRV. [mm]
- $\nu$  = Viscosidad cinemática del agua. [ $1,30E-06 m^2/s$ ] (Anexo O )

Por lo que luego de remplazar los datos obtenidos tendremos:

$$Re = \frac{4Q_s}{\pi * d * \nu}$$

Las pérdidas secundarias o por accesorios, son perdidas de carga producidas por la existencia de accesorios en el tramo de conducción, pero ya que el trazado de tubería no posee accesorios y ya que la trayectoria de tubería posee grandes radios de curvatura, las perdidas por codos se desprecian.

Las únicas pérdidas secundarias consideradas son las existentes a la entrada de la tubería, y se calculan mediante la siguiente expresión:

---

<sup>7</sup> Son aquellas que la rugosidad absoluta de sus paredes interiores aproximadamente equivalen a 0,0015mm, es decir existe muy poca oposición al movimiento del fluido.

$$H_{\text{sec}} = \left( \sum_{i=1}^n \xi_i \right) \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * g * d^4} \quad (131)$$

Dónde:

- $\xi$  = Coeficiente de pérdidas secundarias en accesorios.
- $g$  = Gravedad de la tierra [9,81 m/s<sup>2</sup>]

Para determinar el coeficiente de perdida secundaria a la entrada a la tubería, nos ayudaremos del Anexo P, en donde tomaremos:

$$\xi = 0,05$$

Remplazando los parámetros encontrados la expresión 130 nos quedara de la siguiente manera:

$$H_{\text{sec}} = 0,05 \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * g * d^4}$$

Como sabemos que las pérdidas totales en el sistema, son la sumatoria de las pérdidas primarias y secundarias.

$$H_T = \left( \frac{\lambda L}{d} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4} + \xi \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * g * d^4} \quad (132)$$

Donde el valor calculado del coeficiente de perdidas primarias  $\lambda$  es 0,02 y para un caudal de seguridad tendremos:

$$H_T = \left( \frac{0,02 * (84,92\text{m})}{d} \right) \frac{8 * (11.7\text{m}^3 / \text{s})^2}{\pi^2 g d^4} + (0,05) \frac{8 * (11.7\text{m}^3 / \text{s})^2}{\pi^2 * g * d^4}$$

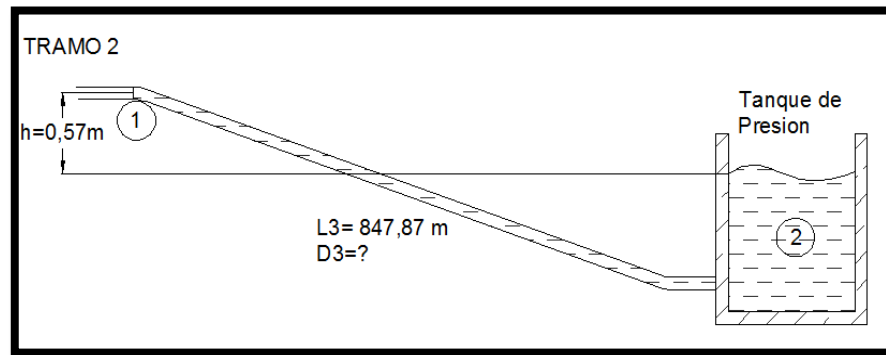
$$H_{\text{TOTALES}} = \frac{19,32}{d^5} + \frac{0,45}{d^4} \quad (133)$$



Una de las condiciones fundamentales en la conducción de un sistema, es que las pérdidas de carga totales no superen a la diferencia de niveles entre dos puntos. Como se puede observar en la expresión 133, cualquiera que fuese el valor de nuestro diámetro de tubería, las pérdidas superan la diferencia de nivel de 0,01 m, por lo que la instalación de una tubería en este tramo no es factible.

- **Tramo 3.**

**Figura 64.** Esquemas de conducción del tramo 1



**Fuente:** Autores

Como observamos en la figura 64, las condiciones que tendremos en el tramo 3 será una diferencia de niveles de aproximadamente 0,57 m [1,87 ft], con una longitud de conducción de 847,87 m [2.781,73 ft].

En el estudio el tramo de conducción, utilizamos las mismas ecuaciones y el similar procedimiento que en el tramo 1, es así que tendremos:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 - H_{\text{TOTALES}} = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2$$

Para encontrar el valor de las pérdidas de carga totales del sistema nos ayudaremos de la ecuación 131.

$$H_{\text{TOTALES}} = \left( \frac{\lambda L}{d} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4} + \xi \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * g * d^4}$$

Tomando el mismo valor de coeficiente de pérdidas primarias y utilizando el mismo factor de pérdidas secundarias de entrada al tanque, tendremos que para un caudal de seguridad, las pérdidas de carga totales, estarán en función del diámetro de la tubería de conducción.

$$H_{\text{TOTALES}} = \left( \frac{0,02 * 847,87\text{m}}{d} \right) \frac{8(11,7\text{m}^3/\text{s})^2}{\pi^2 (9,81\text{m/s}) d^4} + (0,04) \frac{8 * (11,7)^2}{\pi^2 * (9,81\text{m}^2/\text{s}) * d^4}$$

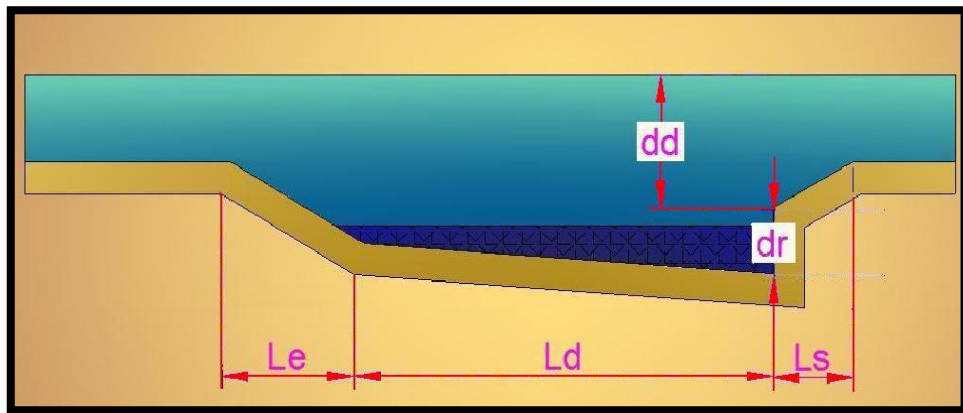
$$H_{\text{TOTALES}} = \frac{191,80}{d^5} + \frac{0,45}{d^4} \quad (134)$$

Analizando la expresión 134, se concluye que en las condiciones propuestas, las pérdidas superan la diferencia de nivel del tramo, por lo que el caudal de agua no fluirá, y no será lógica la utilización de una tubería en este tramo.

## 5.5 Diseño del desarenador [13]

La función que cumplirá el desarenador será el eliminar las partículas en suspensión que fueron acarreadas por el agua desde la bocatoma.

**Figura 65.** Esquema del desarenador



**Fuente:** FREIRE, Edwin. Elaboración e implementación de un software para el diseño de centrales hidroeléctricas hasta 10MW

Debido a que la velocidad de arrastre es elevada en esta, es por ello que para las condiciones de una diferencia de nivel o altura bruta de 164,2 m[538,71 ft] y un caudal de 9,7m<sup>3</sup>/s, según la Tabla 21 se deberá captar un grano de límite de diámetro de:

**Tabla 21.** Diámetro límite de grano para diferentes alturas de caída

Diámetro de la partícula [mm]	Altura de Caída [m]
0,0 - 0,5	10 m Caída Baja
0,1 - 0,2	100 m Caída media
0,01 - 0,05	100 m Caída alta

**Fuente:** Autores

$$d_{lim}=(0,01 - 0,05 \text{ mm})$$

Elegimos el valor más crítico, ya que las partículas de menor diámetro tienden a ser arrastradas con mayor facilidad por pequeñas velocidades de flujo, entonces tendremos:

$$d = 0,01 \text{ mm} \quad (135)$$

La velocidad de estos sedimentos lo podemos encontrar en el Anexo Q, donde:

$$V_p = 0,178 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (136)$$

La velocidad horizontal  $V_d$  en la cámara de sedimentación oscila entre 0.1 – 0.4m/s [0.328 – 1.312 ft/s], por lo que tomaremos la más crítica  $V_d = 0.4 \text{ m/s}$  [0.328 ft/s].

**5.5.1** *Cálculo de la fuerza de empuje [9].* Se debe calcular la fuerza de empuje que una partícula experimenta, esta es igual a:

$$W = 0.152 * V_p \quad (137)$$

$$W = 0.152 * (0,178 \text{ m/s})$$

$$W = 0.027 \text{ m/s}$$

### 5.5.2 Cálculo de la longitud del desarenador [9].

Luego procedemos a calcular la longitud del desarenador para ello nos ayudaremos de la expresión:

$$L = \frac{V_d * h}{V_p - W} \quad (138)$$

$$L = \frac{(0,4 \text{ m/s}) * (4 \text{ m})}{(0,178 \text{ m/s}) - (0,027 \text{ m/s})}$$

$$L = 10,60 \text{ m [34,78 ft]}$$

### 5.5.3 Cálculo del tiempo de decantación y sedimentación [9]. Entonces la partícula en recorrer la longitud de la cámara tendrá un tiempo de decantación de:

$$t_d = \frac{L}{V_d} \quad (139)$$

$$t_d = \frac{10,60 \text{ m}}{0,4 \text{ m/s}}$$

$$t_d = 27,50 \text{ s}$$

El tiempo de sedimentación será:

$$t_s = \frac{h}{V_p - W} \quad (140)$$

$$t_s = \frac{4 \text{ m}}{0,178 \text{ m/s} - 0,027 \text{ m/s}}$$

$$t_s = 26,50 \text{ s.}$$

En dónde se verificara que cumpla la condición de  $t_d \geq t_s$ , que en nuestro caso no se cumple. Una alternativa es el aumentar la longitud del desripeador a 11 m [36,09 ft], donde tendremos:

$$t_d \geq t_s \quad (141)$$

$$27,50 \geq 26,50 \text{ OK}$$

Una vez que hemos verificado que la condición propuesta cumple, aseguramos que las partículas se decantaran en el tanque del desarenador.

#### 5.5.4 Cálculo del ancho del desarenador [9]

$$B' = \frac{Q_{seg}}{h * V_d} \quad (142)$$

Para caudal de seguridad de 11,7 m<sup>3</sup>/s como recomienda la referencia 9, tendremos un ancho del desarenador de:

$$B' = \frac{11,7 \text{ m}^3 / \text{s}}{4 * 0,2}$$

$$B' = 7,31 \text{ m [95,96 ft].}$$

Ya que el ancho del desarenador deberá superar el del canal abierto, notamos que la dimensión obtenida es apropiada para la correcta unión entre estas dos.

#### 5.5.5 Cálculo de la longitud de la base del desarenador $l_d$ [2]

$$L_d = \frac{V_d}{V_p} * d_d * f \quad (143)$$

Dónde:

- $V_d$  = Velocidad horizontal en la cámara de sedimentación [m/s].

- $V_p$ = Velocidad de sedimentación [m/s].
- $dd$ = Profundidad de decantación [m]
- $F$  = factor de seguridad (recomendado 2).

Para una profundidad de decantación de 0,5 m [1,64 ft], tendremos:

$$L_d = \frac{0,4}{0,178} * 0,5 * 2$$

$$L_d = 2,25 \text{ m [7,37 ft]}$$

**5.5.6** *Cálculo de la capacidad del tanque colector  $m$ , y frecuencia de velocidad del depósito [13].* Para realizar el cálculo de la capacidad de recolección que tendrá el tanque colector es necesario realizar un estudio a la calidad del agua, por lo que mediante una observación visual realizada en las diferentes visitas técnicas, podemos decir que trabajaremos con agua relativamente baja de porcentaje de turbidez, por lo que se recomienda tomar un valor de la misma de  $0,05 \text{ Kg/m}^3$ .

Consideraremos un periodo de tiempo de vaciado del tanque una vez por semana, es decir que tendremos un  $T = 604800 \text{ s}$ .

Entonces tendremos:

$$m = Q_d * T * U \quad (144)$$

Dónde:

- $Q_d$  = Caudal de diseño [ $9,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ]
- $T$  = Período de tiempo de vaciado [s].
- $U$  = Turbidez [ $\text{Kg/m}^3$ ]

$$m = 9,75 \text{ m}^3 / \text{s} * 604800 \text{ s} * 0,05 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$m = 294840 \text{ Kg}$$

Por recomendaciones de seguridad recomendadas en la referencia [1], debemos aumentar este valor de la masa en un 100 %, es decir tendremos:

$$m_R = 2 * m \quad (145)$$

$$m_R = 589680 \text{ Kg.}$$

**5.5.7** *Cálculo del volumen del sedimento [1].* Para calcular el volumen de los sedimentos, deberemos conocer la densidad de la arena, la misma que observando en el Anexo R tendremos:

$$\delta_{\text{arena}} = 2600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad (146)$$

Calculando el volumen del sedimento mediante la siguiente expresión tendremos:

$$V_{sd} = \frac{m_R}{\delta_{\text{arena}}} \quad (147)$$

$$V_{sd} = 226,8 \text{ m}^3$$

**5.5.8** *Cálculo de la profundidad del colector dr [1]*

$$dr = \frac{V_{sd}}{B * L_d} \quad (148)$$

$$dr = \frac{226,8}{7,31 * 11}$$

$$dr = 2,82 \text{ m [9,25 ft]}$$

**5.5.9** *Cálculo de la transición a la salida del desarenador [1].* El cambio entre la obra de conducción y el desarenador, no deberá ser brusco, notando la necesidad de tener un área de transición.

Para calcular la longitud de la transición tendremos:

$$L_s = \frac{B' - B}{2 \tan \alpha} \leq \frac{1}{3} L \quad (149)$$

Dónde:

- $B'$  = Ancho del desarenador [m].
- $B$  = ancho del canal de conducción [m].
- $\alpha$  = Angulo de divergencia [12,5°].
- $L$  = Longitud del desarenador[m].

Entonces tendremos:

$$L_s = \frac{B - b}{2 \tan 12,5} \quad (150)$$

$$L_s = 2,6 \text{ m [8,53 ft]}$$

Comprobamos que se cumpla la condición:

$$1 \leq \frac{1}{3} L \quad (151)$$

$$2,6 \leq 3,66 \quad \mathbf{OK}$$

**5.5.10** *Cálculo de la transición a la entrada del desarenador [1]*

$$L_e = 2,5 * B \quad (152)$$

$$L_e = 6,09 \text{ m [20ft]}.$$



### 5.5.11 Cálculo del encofrado del desarenador [9]

$$E = (dd + dr) * [2 * (Le + Ld + Ls) + 2B] * 2 \quad (153)$$

$$E = 358,60 \text{ m}^2$$

**5.5.12 Cálculo de las paredes del tanque.** Calculamos las presiones que se generaran en el fondo del tanque, para así seleccionar el material del que pueden ser construidas las paredes del tanque, donde tendremos:

$$P_T = P_{atm} + [\rho_{agua} * g * (dd + dr)] \quad (154)$$

Dónde:

- $P_T$  = Presión total en el fondo del tanque [Pa]
- $P_{atm}$  = Presión atmosférica [72746,82 Pa].
- $\rho_{agua}$  = Densidad del agua a 15°C [1000 Kg/m<sup>3</sup>].
- $\alpha$  = Angulo de divergencia [12,5°].
- $L$  = Longitud del desarenador[m].

Entonces tendremos:

$$P_T = 72746,82 + [1000 * 9,81 * (3,32)]$$

$$P_T = 105311,90 \text{ Pa [0,0105 KN/cm}^2]$$

Ya que la resistencia promedio de un ladrillo es de 1,7 KN/cm<sup>2</sup>, concluimos manifestando que no existirá ningún inconveniente en la construcción de las paredes del tanque de este material.

## 5.6 Estudio de alternativas para el sistema de presión

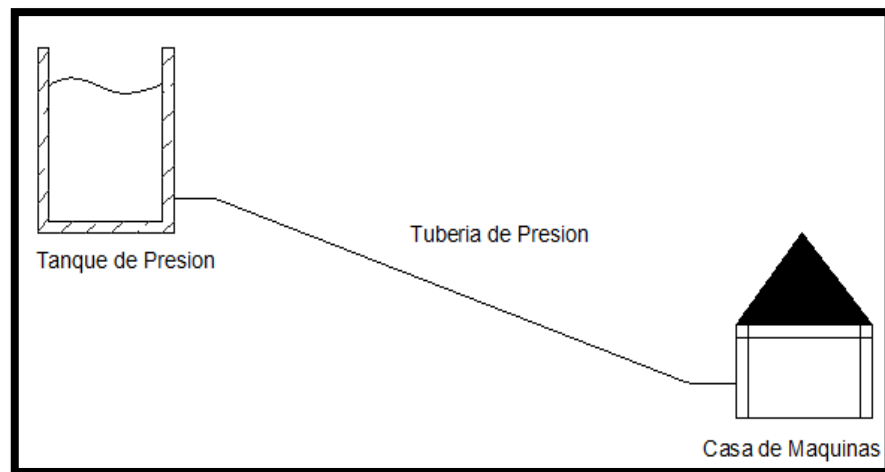
Una de las importancias del Estudio de Factibilidad, es el estudio de las correctas alternativas que se manejaran en el proyecto.

Planteamos las siguientes alternativas:

### **Alternativa 1.**

- a) Tanque de presión.
- b) Un segmento de tubería de presión.
- c) Casa de máquinas.

**Figura 66.** Esquemas de Alternativa 1.

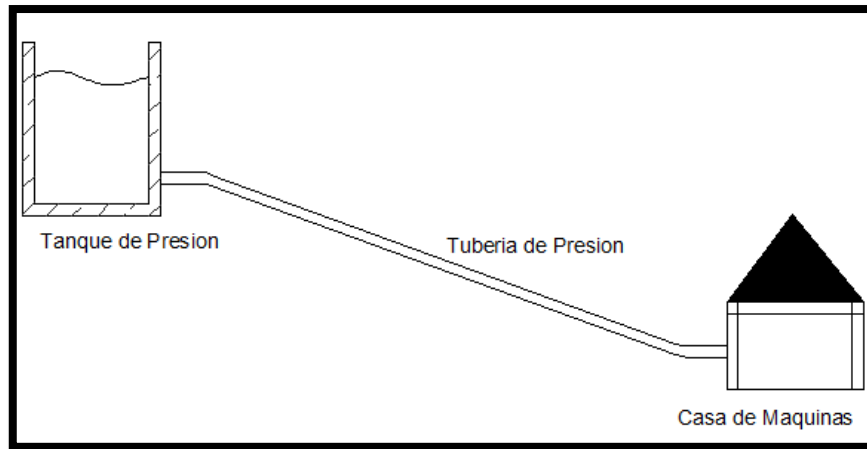


**Fuente :** Autores

### **Alternativa 2.**

- a) Tanque de presión.
- b) Dos segmentos de tubería de presión.
- c) Casa de máquinas.

**Figura 67.** Esquemas de Alternativa 2.



**Fuente:** Autores

## **5.7 Cámara de carga**

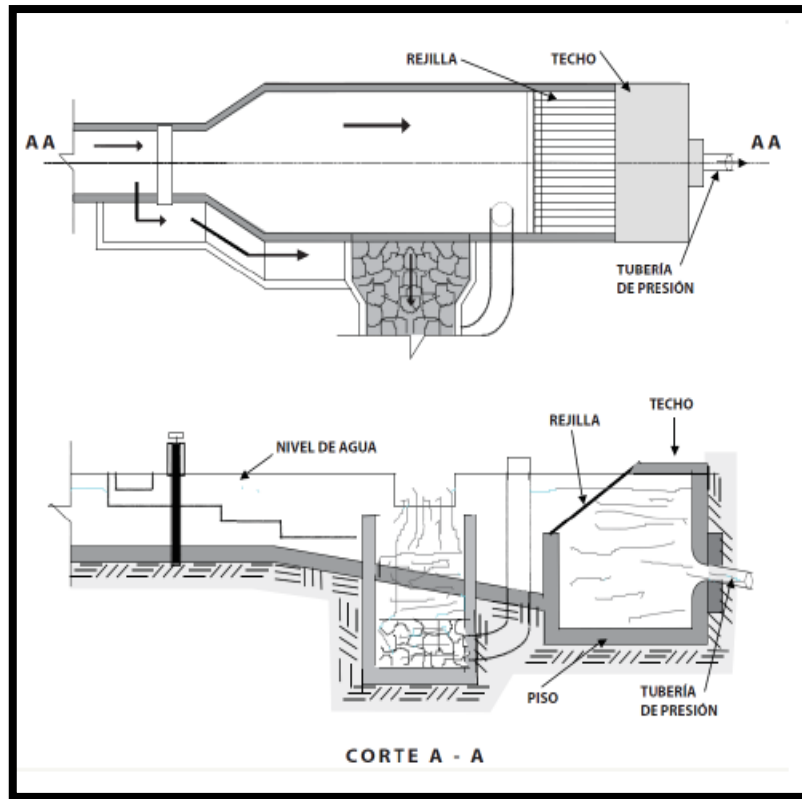
En el estudio de la cámara de carga, se analiza la existencia del fenómeno de golpe de ariete, la necesidad constructiva de una almenara o chimenea de equilibrio y el diseño del tanque de presión.

Para lo cual es imprescindible conocer un diámetro tentativo de la tubería de presión. Se decide dividir en partes iguales el caudal y así utilizar 2 tramos en paralelo de tubería de carga.

El caudal de diseño es de  $9,75 \text{ m}^3/\text{s}$ , el caudal que circulara por cada ramal de tubería de presión será  $4,875 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**5.7.1** *Dimensionamiento del tanque de presión [13] [14].* Una de las obras principales y de una importancia fundamental, es el tanque de presión, el mismo que deberá cumplir las siguientes condiciones:

**Figura 68.** Dimensiones principales del tanque de presión con desarenador.



**Fuente:** KROCHIN, S. Diseño Hidráulico

### **Características**

- ✓ Es el punto de unión entre el sistema de conducción y el sistema de presión del sistema de generación.
- ✓ Impedir que materiales sólidos y extraños entren hacia el sistema de presión y generación.
- ✓ Producir una altura constante de agua sobre la tubería de presión, la misma que evitara que entre aire hacia la tubería de presión.

Para iniciar el dimensionamiento del tanque de presión deberemos considerar principalmente el volumen que este alojara y sobre todo la altura mínima que se tendrá sobre la tubería de presión.

**5.7.1.1** *Cálculo del volumen del tanque de presión [10].* Para el dimensionamiento del tanque de presión, es necesario conocer dos parámetros fundamentales; como la velocidad del agua en la conducción y la sección transversal del canal abierto de conducción.

La velocidad que posee el agua en la conducción de acuerdo al dimensionamiento del canal abierto, verificamos que la velocidad del agua en la conducción es  $V_{real} = 2,18 \text{ m/s}$ .

Se calcula la sección transversal del canal de conducción mediante la expresión:

$$A_o = \frac{Q_d}{V_{real}} \quad (155)$$

Dónde:

- $Q_d$  = Caudal de diseño [ $9,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ].
- $V_{real}$  = Velocidad en el canal de conducción [ $\text{m/s}$ ].

$$A_o = \frac{9,75}{2,18}$$

$$A_o = 4,47 \text{ m}^2 [\text{ft}^2]$$

Se calcular el volumen del tanque de presión, mediante la ecuación:

$$V_{tq} = \frac{0,693 * A_o * V_{real}^2}{i * g} \quad (156)$$

Dónde:

- $A_o$  = Sección transversal del canal de conducción [ $\text{m}^2$ ].
- $V_{real}$  = Velocidad en el canal de conducción [ $\text{m/s}$ ]
- $I$  = Pendiente del tanque ( $1\% = 0,001$ ).
- $G$  = Aceleración de la gravedad [ $9,81 \text{ m}^2/\text{s}$ ].

Entonces se tendrá:

$$V_{tq} = \frac{0,693 * 4,47 * 2,18^2}{0,01 * 9,81}$$

$$V_{tq} = 150,09 \text{ m}^3.$$

#### 5.7.1.2 Cálculo del diámetro de tubería de presión según Bondush [13]

$$\phi_{pr} = 1,27 * \frac{Q_d^{0,4268}}{(H_b + h_s)^{0,1423}} \quad (157)$$

Dónde:

$\Phi_{pr}$  = Diámetro de la tubería de presión [m].

$Q_d$  = Caudal de diseño [9,75 m<sup>3</sup>/s]

$H_b$  = Altura bruta [m].

$h_s$  = Altura de sobrepresión por golpe de ariete [m].

- *Alternativa “A”.*

Se plantea la instalación de un solo tramo de tubería de presión, por el pasara todo nuestro caudal de diseño, es decir que el diámetro de la tubería de presión para esta alternativa será:

$$\phi_{pr} = 1,27 * \frac{9,75^{0,4268}}{(164 + 0,3 * 164)^{0,1423}}$$

$$\Phi_{pr} = 2,89 \text{ m [113,95 in]}$$

El resultado obtenido del diámetro interno de tubería de presión es muy grande y no será posible su fabricación con ningún material.

- *Alternativa “B”*

Se realizara dos trazados de tubería de presión en tramos en paralelo, el caudal de diseño se dividirá para cada una de ellas, es decir el caudal que pasara por cada ramal de tubería será de:

$$Q_{tp} = 4,875 \text{ m}^3/\text{s}.$$

El valor de altura por la sobrepresión causada por el fenómeno de golpe de ariete, es igual a 0,3 Hb según referencia [10], entonces tendremos:

$$\phi_{pr} = 1,27 * \frac{4,875^{0,4268}}{(164 + 0,3 * 164)^{0,1423}}$$

$$\Phi_{pr} = 1,16 \text{ m [45,83 in]}$$

Se plantea la posibilidad de utilizar las siguientes alternativas.

- *Alternativa 1*

- Diámetro nominal = 48 in
- Diámetro interno = 1195,2 mm
- Material: Acero al carbono -PRFV.

- *Alternativa 2*

- Diámetro nominal = 52 in
- Diámetro interno = 1289,2 mm
- Material: Acero al carbono -PRFV.

- *Alternativa 3*

- Diámetro nominal = 56 in

- Diámetro interno = 1387 mm
- Material: Acero al carbono -PRFV.
- *Alternativa 4*
- Diámetro nominal = 60 in
- Diámetro interno = 1492 mm
- Material: Acero al carbono -PRFV.

**5.7.1.3** *Cálculo de la altura mínima de agua sobre la tubería de presión para la salida longitudinal del flujo  $h_{tb}$  [15]*

$$h_{tb} = 0,724 * V_{tp} * d \quad (158)$$

Dónde:

- $V_{tp}$  = Velocidad del agua en la tubería de presión [m/s].
- $d$  = Diámetro interno de la tubería de presión [m].

Según el manual de hidráulica de Azevedo Acosta [12], menciona que en tuberías de presión en centrales hidroeléctricas, la velocidad máxima que pase por estas debe estar en el rango de 1,5 – 4,5 m/s, para así evitar y controlar el desgaste por erosión del material y los efectos dinámicos como sobrepresiones, asumimos un valor intermedio de 3 m/s de velocidad del agua.

Tabulamos los resultados para las diferentes alternativas presentadas para en la tubería presión tendremos:



**Tabla 22.** Altura mínima de agua sobre la tubería de presión.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b>Velocidad en Tubería de Presión [m/s]</b>	<b>Altura mínima Htb [m]</b>
48	1,20	3	2,37
52	1,29	3	2,47
56	1,30	3	2,48
60	1,49	3	2,65

**Fuente:** Autores

Los resultados obtenidos en la tabla 22, demuestran que una altura de columna de agua de 2,7 m [8,86 ft], sería la adecuada y nos daría seguridad de que no entrara aire hacia la tubería de presión.

#### **5.7.1.4** *Cálculo de la longitud del tanque de presión [4]*

$$L_{\text{tq}} = \frac{V_{\text{tq}}}{B * h_{\text{tq}}} \quad (159)$$

$$L_{\text{tq}} = \frac{150,09}{7,31 * 2,6}$$

$$L_{\text{tq}} = 7,60 \text{ m [24,94 ft]}.$$

Uno de los principales inconvenientes que se presenta en el tanque de presión, es el arrastre de materiales sólidos en la conducción, por ello que deberá instalar rejillas finas de contención, las mismas que producirán una pérdida de carga, la misma que podrá ser determinada mediante la expresión:

$$h_f = B_1 * \left(\frac{t}{2}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V_{ap}^2}{2g} \text{sen}A \quad (160)$$

Dónde:

- $h_f$  = Pérdidas por rejilla [m].
- $B_1$  = Coeficiente que varía de acuerdo a la sección transversal del barrote (2,2 para pletinas comunes) [9].
- $V_{ap}$  = Velocidad de aproximación (0,5 – 1,2 m/s).
- $t$  = Grueso del barrote (0,75cm)
- $s$  = Separación entre barrotes (2cm).
- $A$  = Ángulo de inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal (para limpieza manual 50°) [9].

Entonces tendremos:

$$h_f = 2,2 * \left(\frac{0,75}{2}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{1^2}{2(9,81)} \text{sen}50^\circ$$

$$h_f = 0,023 \text{ m [0,08 ft]}$$

**5.7.2 Golpe de ariete [9].** Si una válvula se cierra parcial o totalmente, se produce el efecto de propagación de ondas de presión dentro de la tubería, es por ello que es indispensable el estudio del mismo, para ello se determinara la sobreelevación máxima producida por este fenómeno.

Para ello debemos calcular la velocidad de onda de presión, misma que se genera en un cierre brusco en el paso normal del agua, para esto nos ayudaremos de la expresión:

$$V_s = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \frac{D}{e}}} \quad (161)$$

Dónde:

- K= Constante del material de la tubería ( K=0,5 ) [9].
- D= Diámetro nominal de la tubería de presión [m].
- e= Espesor de la tubería de presión [m].

Luego se calculara el tiempo que demora la onda de presión, desde el órgano de control hasta el tanque de presión y su regreso. Para ello se utiliza la fórmula:

$$T = \frac{2 * L_{tp}}{V_s} \quad (162)$$

Dónde:

- $L_{tp}$  = longitud de la tubería de presión (según Anexo M tendremos una  $L_{tp}=311,24$  m).
- $V_s$  = Velocidad de onda de presión [m/s].

Asumiremos un valor de tiempo de maniobra de cierre  $t$  al órgano de control superior al tiempo  $T$  calculado:

$t > T$  Para esto se sumarán 3 segundos adicionales al tiempo  $T$

Finalmente se calcula la altura equivalente a causa del golpe de ariete con la siguiente fórmula:

$$h_s^+ = \frac{8 * L * Q_{tp}}{\pi * g * T * D_i^2} \quad (163)$$

**Tabla 23.** Altura mínima de agua sobre la tubería de presión

Dn [m]	e [m]	Dint [m]	Vs[m/s]	T [s]	T'(s)	hs
1,2192	0,012	1,20	992,35	0,73	3,73	82,79
1,3208	0,016	1,2892	1044,51	0,69	3,69	71,24
1,321	0,018	1,390	1067,28	0,68	3,68	71,50
1,524	0,016	1,492	1009,23	0,72	3,72	53,16

**Fuente:** Autores

Ya que una de estas alternativas será escogida, podremos decir que el cálculo de la alternativa seleccionada será el definitivo.

**5.7.3 Selección del diámetro de la tubería de presión [3] [10].** Uno de los principales fundamentos al momento de seleccionar correctamente el diámetro de la tubería de presión, es considerar el material de cual estará fabricada, los diferentes accesorios que podremos tener disponible y la facilidad de manipulación y montaje que debe existir. Es así que una de las alternativas será considerar el Acero dúctil como material de la tubería de presión, ya que a más de ser uno de los más usados ofrece prestaciones como resistencia al impacto, factor de fricción regular, una excelente durabilidad y una facilidad de montaje adecuada. Su unión se la realiza generalmente mediante soldadura y si se aplica el método anti corrosivo adecuado, que alargara la vida útil de la tubería.

**Figura 69.** Tuberías de acero al carbono



**Fuente:** <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/disenio-por-presion-interna-de-tuberias-de-acero-para-el-abastecimiento-de-agua/>

Otra alternativa innovadora a tomar en cuenta, será la utilización del Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), ya que por ser un material amigable con el medio ambiente, es una de las alternativas ecológicas mejor calificadas en este tipo de obras, posee una facilidad de transporte y además que no poseen el problema de corrosión que tienen las tuberías de acero, se las puede fabricar de cualquier diámetro y espesor. El principal inconveniente al momento de elegir este tipo de tuberías será su instalación ya que solo se la realizara mediante excavación, ya que al ser expuestas al sol, en ellas comienzan a aparecer trizas duras, es por ello que para su instalación se debe seguir un procedimiento de preparación de suelo, lo que en costos tendría una repercusión considerable.

**Figura 70.** Tuberías de PRFV.



**Fuente:** <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/disenio-por-presion-interna-de-tuberias-de-acero-para-el-abastecimiento-de-agua/>

**5.7.3.1** *Selección del material de la tubería de presión [1] [15].* Para una correcta selección del material, se debe evaluar y comparar las características de cada uno de ellos, es decir:

**Tabla 24.** Características de funcionamiento de las alternativas de materiales.

MATERIAL	PROPIEDADES						
	Perdida por Fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de Trabajo	Facilidad de Instalación	Resistencia a los Rayos UV
Acero Comercial	3	2	1	3	5	4	5
PRFV	4	4	4	3	3	1	1

Rango: Malo 1.

Excelente 5.

Se realiza un análisis comparativo entre los diferentes materiales, se concluye que el Acero Comercial nos brindara mayores prestaciones, es por lo será conveniente la utilización del mismo en la Tubería de Presión.

El Acero Comercial, Tipo API, Grado B tendrá las siguientes propiedades Mecánicas:

- Rugosidad absoluta = 0,003 m
- Limite elástico = 241 Mpa min.
- Carga de rotura = 413 Mpa min.
- Módulo de elasticidad del material =  $2,11 \times 10^{-6}$  Kgf/cm<sup>2</sup>.

#### **5.7.3.2** *Cálculo de la velocidad de agua que fluye por las diferentes tuberías [16].*

Si:

$$V_p = \frac{4 * Q_{tp}}{\pi * D_i^2} \quad (164)$$

Dónde:

- $Q_{tp}$ =Caudal en cada ramal de tubería de presión (4,875 m<sup>3</sup>/s ).

- Di= Diámetro nominal de la tubería de presión [m].

Entonces tendremos:

**Tabla 25.** Velocidades del agua en los diferentes diámetros de tubería de presión.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>V<sub>T</sub> [m/s]</b>
48	1,195	1,12	4,2
52	1,289	1,31	2,8
56	1,390	1,52	2,5
60	1,492	1,75	1,82

**Fuente:** Autores

Como se mencionó en la referencia [12], la velocidad del agua en la tubería de presión, no podrá sobrepasar los 4,5 m/s, por lo que ninguna de las alternativas planteadas la sobrepasa pudiendo ser consideradas para el diseño.

**5.7.4** *Cálculo de pérdidas en las tuberías de presión.* Cuando la velocidad de un fluido cambia ya sea en magnitud o dirección, se origina una turbulencia que origina una disipación de la energía produciendo pérdidas de carga o también llamadas perdidas de energía.

Estas pérdidas se clasifican dependiendo en donde se las produzca, es decir existirán perdidas de energía por el rozamiento del agua con las paredes de la tubería a las que llamaremos Pérdidas Primarias, y las pérdidas existentes en los accesorios utilizados dentro de la longitud de tubería de presión las llamaremos Pérdidas Secundarias.

**5.7.4.1** *Pérdidas primarias o de superficie [16]*

$$H_{\text{p}} = \frac{\lambda * L_{\text{tp}} * V_{\text{tp}}^2}{2 * g * Di} \quad (165)$$

Dónde:

- ✓  $\lambda$  = Coeficiente de pérdidas primarias.
- ✓  $L_{tp}$  = Longitud de la tubería [m].
- ✓  $V_{tp}$  = Velocidad del agua [m/s].
- ✓  $D_i$  = Diámetro Interno de la tubería de Presión [m].

El coeficiente de perdidas primarias  $\lambda$ , se lo determina mediante el Diagrama de Moody, el mismo que se encuentra en el Anexo N, el mismo que se encuentra en función del Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa del Material.

El número de Reynolds está dado por la ecuación:

$$Re = \frac{Q_{tp} * D_i}{A_{tp} * \gamma_{agua}} \quad (166)$$

Dónde:

- ✓  $Q_{tp}$  = Caudal en la tubería de presión [m<sup>3</sup>/s].
- ✓  $D_i$  = Diámetro interno de la tubería de presión [m].
- ✓  $A_{tp}$  = Área interna de la tubería de presión [m<sup>2</sup>].
- ✓  $\gamma_{agua}$  = Viscosidad cinemática del agua a 15°C (Anexo P) [1,40 X10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s].

La Rugosidad relativa ( $\epsilon/d$ ), se la encuentra mediante la relación de la rugosidad absoluta del material, en nuestro caso se lo tomara para tuberías de Acero Comercial, para el diámetro interno de la tubería.

Obtenidos los parámetros anteriores se dirige hacia el diagrama de Moody y hallar el coeficiente de pérdidas primarias, para luego proceder a calcular las pérdidas de superficie para los diferentes diámetros de tubería de presión, es así se tendrá:



**Tabla 26.** Tabla de pérdidas primarias en los diferentes diámetros de tuberías de presión.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [mm]</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>V<sub>T</sub> [m/s]</b>	<b>Re</b>	<b>Rugosidad Relativa</b>	<b>λ</b>	<b>H<sub>rp</sub> [m]</b>
48	1,195	1,12	4,40	3,757E+06	0,000025	0,011	3,23
52	1,289	1,31	3,78	3,483E+06	0,000023	0,011	2,21
56	1,390	1,52	3,25	3,231E+06	0,000022	0,012	1,66
60	1,492	1,75	2,82	3,010E+06	0,000020	0,013	1,26

**Fuente:** Autores

#### **5.7.4.2** *Pérdidas secundarias o de forma*

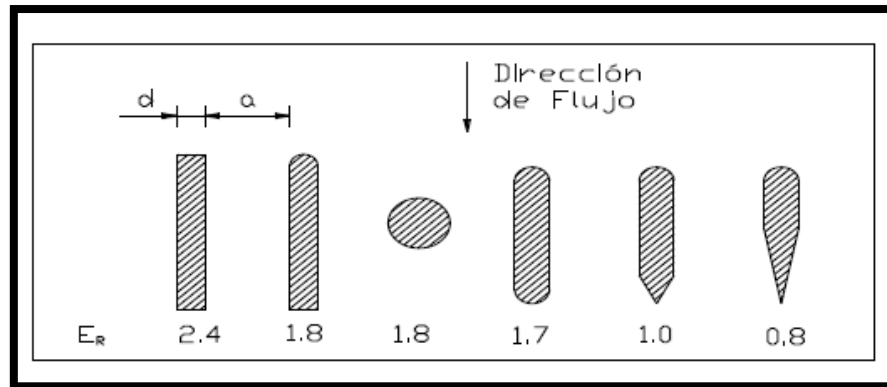
*a) Pérdidas secundarias en rejilla [16].*

$$H_{sr} = E_R * \frac{V_T^2}{2 * g} \quad (167)$$

Dónde:

- ✓  $H_{sr}$  = Pérdidas secundarias en rejilla [m].
- ✓  $E_R$  = Coeficiente de pérdidas secundarias dependiendo de la forma de los barrotes.
- ✓  $V_T$  = Velocidad de agua entrante a la tubería de presión [m/s].

**Figura 71.** Coeficiente de pérdidas en la rejilla.



**Fuente:** FREIRE, Edwin. Elaboración e implementación de un software para el diseño de centrales hidroeléctricas hasta 10mw

Escogemos un perfil circular, por lo cual tendremos:

**Tabla 27.** Tabla de pérdidas secundarias en la rejilla.

Diámetro Nominal [in]	Diámetro Interno [mm]	Área [m <sup>2</sup> ]	V <sub>T</sub> [m/s]	E <sub>R</sub>	H <sub>sr</sub> [m]
48	1,195	1,12	4,2	1,8	1,78
52	1,289	1,31	2,8	1,8	1,31
56	1,390	1,52	2,5	1,8	0,97
60	1,492	1,75	1,82	1,8	0,73

**Fuente:** Autores

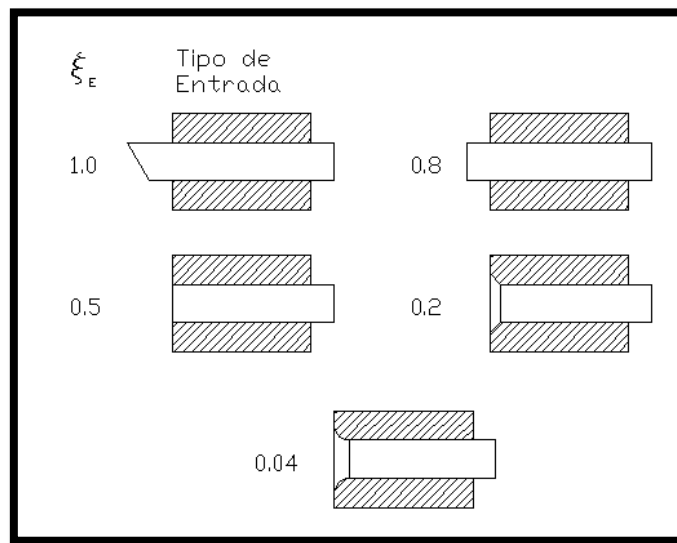
b) Pérdidas secundarias en la entrada a la tubería [16].

$$H_{se} = E_E * \frac{V_T^2}{2 * g} \quad (168)$$

Dónde:

- ✓  $H_{se}$  = Pérdidas secundarias por entrada a la tubería [m].
- ✓  $E_E$  = Coeficiente de pérdidas secundarias dependiendo de la forma de entrada al tanque
- ✓  $V_T$  = Velocidad de agua entrante a la tubería de presión [m/s].

**Figura 72.** Coeficiente de entrada de tubería.



**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Entonces para los diferentes diámetros de tubería tendremos los siguientes valores de pérdidas:

**Tabla 28.** Tabla de pérdidas secundarias en la entrada a la tubería.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [mm]</b>	<b>Área [m²]</b>	<b><math>V_T</math> [m/s]</b>	<b><math>E_R</math></b>	<b><math>H_{se}</math> [m]</b>
48	1,195	1,12	4,2	1,0	0,99
52	1,289	1,31	2,8	1,0	0,73
56	1,390	1,52	2,5	1,0	0,54
60	1,492	1,75	1,82	1,0	0,41

**Fuente:** Autores

c) *Pérdidas secundarias por codos  $\sigma_{hk}$  [16].*

$$H_k = \sum E_k * \frac{V_T^2}{2 * g} \quad (169)$$

Dónde:

- ✓  $H_k$  = Pérdidas secundarias en codos circulares en función del ángulo [m].
- ✓  $E_k$  = Coeficiente de pérdidas secundarias dependiendo de la forma de los barros.
- ✓  $V_T$  = Velocidad de agua entrante a la tubería de presión [m/s].

**Tabla 29.** Coeficiente de pérdidas en codos circulares.

Angulo $\alpha$	10	15	22,5	30	45	60	90
$E_k$	0,044	0,062	0,154	0,165	0,32	0,684	1,265

**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

Deberemos conocer el número de codos necesarios que utilizaremos en el trazado de nuestra tubería de presión, para lo cual deberemos referirnos a nuestro estudio vertical del proyecto (Anexo T).

En el mismo se dividirá en diferentes tramos los mismos que observamos que poseen cambio de pendiente que a continuación presentamos:

**Tabla 30.** Coeficiente de pérdidas para los tramos de presión.

TRAMOS	PENDIENTE	LONGITUD DEL TRAMO [m]	$E_k$ [m]
1	33	187,19	0,196
2	12	10,35	0,0512
3	38	5,82	0,25
4	24	12,8	0,16

5	15	16,58	0,062
6	31	7,05	0,18
7	20	6,24	0,12
8	56	6	0,59
9	5	10,44	0,044
10	22	17,29	0,154
11	16	31,37	0,063
12	31	20,33	0,18
13	50	7,15	0,44
14	4	9,06	0,044
15	35	8,09	0,18

**Fuente:** Autores

Las pérdidas por codos para diferentes diámetros se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 31** Pérdidas secundarias por cambio de pendiente.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [mm]</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>V<sub>T</sub> [m/s]</b>	<b>Ek</b>	<b>Hk [m]</b>
48	1,195	1,12	4,40	2,7	2,68
52	1,289	1,31	3,78	2,7	1,98
56	1,390	1,52	3,25	2,7	1,46
60	1,492	1,75	2,82	2,7	1,10

**Fuente:** Autores

*d) Pérdidas secundarias por presencia de una válvula de control [16].*

$$H_v = E_v * \frac{V_T^2}{2 * g} \quad (170)$$

Dónde:

- ✓  $H_v$  = Pérdidas secundarias en válvula [m].
- ✓  $E_v$  = Coeficiente de pérdidas secundarias dependiendo del tipo de válvula.
- ✓  $V_T$  = Velocidad de agua entrante a la tubería de presión [m/s].

**Tabla 32. Coeficiente de pérdidas en diferentes tipos de válvulas**

TIPO	$E_v$
Válvula Tipo de Mariposa	0,2 - 0,4
Válvula Esférica	0,1
Válvula Anular	1,2 - 2,5

**Fuente:** Ortiz, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Las pérdidas en la válvula de control para diferentes diámetros se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 33. Pérdidas Secundarias por presencia de una válvula de control.**

Diámetro Nominal [in]	Diámetro Interno [mm]	Área [m <sup>2</sup> ]	$V_T$ [m/s]	ER	$H_v$ [m]
48	1,195	1,12	4,2	0,2	0,20
52	1,289	1,31	2,8	0,2	0,15
56	1,390	1,52	2,5	0,2	0,11
60	1,492	1,75	1,82	0,2	0,08

**Fuente:** Autores

**5.7.4.3 Cálculo de pérdidas totales [16].** Las pérdidas totales del sistema se calculan mediante la sumatoria total de las pérdidas primarias y secundarias que se producen para los diferentes diámetros de tubería, es decir se tendrá:

$$H_T = H_{rp} + H_{sr} + H_{se} + H_k + H_v \quad (171)$$

Dónde:

- ✓  $H_T$  = Pérdidas totales [m].
- ✓  $H_{sr}$  = Pérdidas secundarias en rejilla [m].
- ✓  $H_{se}$  = Pérdidas secundarias en rejilla [m].
- ✓  $H$  = Pérdidas secundarias en codos circulares en función del ángulo [m].
- ✓  $H_v$  = Pérdidas secundarias en válvula [m].

Las pérdidas totales para diferentes diámetros de tubería son:

**Tabla 34. Pérdidas totales en el sistema de presión.**

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [mm]</b>	<b>H<sub>rp</sub> [m]</b>	<b>H<sub>sr</sub> [m]</b>	<b>H<sub>se</sub> [m]</b>	<b>H<sub>k</sub> [m]</b>	<b>H<sub>v</sub> [m]</b>	<b>H<sub>T</sub> [m]</b>
48	1,195	3,23	1,78	0,99	2,68	0,20	8,87
52	1,289	2,21	1,31	0,73	1,98	0,15	6,38
56	1,390	1,66	0,97	0,54	1,46	0,11	4,74
60	1,492	1,26	0,73	0,41	1,10	0,08	3,58

**Fuente:** Autores

#### **5.7.5** *Cálculo de porcentaje de perdidas [1].*

$$\% \text{Perdidas} = \frac{100 * H_T}{H_b} \quad (172)$$

Según se recomienda en la referencia 1, el porcentaje de perdidas existentes en la tubería de presión deberá estar en el rango del 3% al 11%, de lo contrario se deberá tomar otras alternativas de diámetros sin perder de vista el factor económico.

Entonces para nuestras alternativas planteadas, el porcentaje de pérdidas serán:

**Tabla 35.** Porcentaje de pérdidas totales en el sistema de presión.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [mm]</b>	<b>Porcentaje de Perdidas [%]</b>
48	1,195	5,40
52	1,289	3,89
56	1,390	2,89
60	1,492	2,18

**Fuente:** Autores

#### 5.7.6 Cálculo del espesor mínimo de la tubería de presión $e'$ [1]

$$e' = \frac{5 * f_s * (H_b + H_s) * 10^6 * D * K_j}{\delta t} + K_c \quad (173)$$

Dónde:

- ✓  $E'$  = Espesor teórico de la tubería [mm]
- ✓  $f_s$  = Factor de seguridad de 3.
- ✓  $K_j$  = Factor de junta (para el acero se utilizan juntas soldadas  $K_f=1.1$ ).
- ✓  $K_c$  = Factor de corrosión a 20 años de vida útil (para el acero  $K_c= 2\text{mm}$ ).
- ✓  $h_s$  = Sobrepresión por golpe de ariete (tabla 35 ) [m].
- ✓  $\delta t$  = Resistencia última a la rotura del material (para el acero  $\delta t=415 \text{ Mpa}$ ).

Entonces el espesor mínimo para las alternativas de tubería será:



**Tabla 36.** Tabla de espesores mínimos de seguridad.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b>Fs</b>	<b>hs+</b>	<b>e' [mm]</b>	<b>e [mm]</b>
48	1,20	3	82,79	13,97	11,9
52	1,289	3	71,24	14,36	15,9
56	1,390	3	71,50	15,31	17,5
60	1,492	3	53,16	15,14	15,9

**Fuente:** Autores

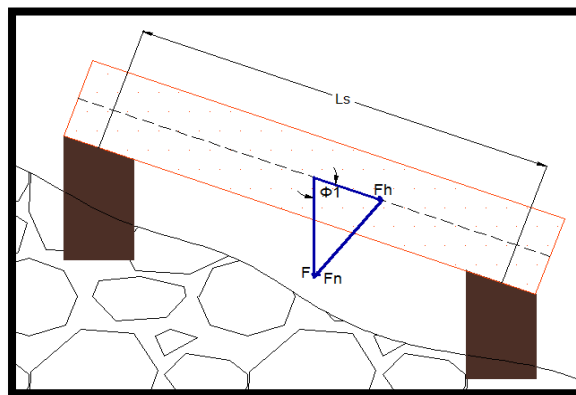
Se observa en la tabla 36, que se cumple la condición de seguridad, ya que los espesores nominales serán más grandes que los espesores mínimos requeridos.

## 5.8 Cálculo de las tensiones en la tubería de presión [9]

Es importante analizar las tensiones que soportara la tubería de presión, la cual va apoyada sobre estructuras de concreto, y en ellas es de vital importancia la relación entre el espesor y la distancia entre bloques, ya que de esta dependerá la selección de tubería basada en criterios técnicos – económicos.

Las principales tensiones que debe soportar la tubería serán:

**Figura 73.** Sistema de esfuerzos actuantes sobre la tubería de presión.



**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas centrales hidroeléctricas

**5.8.1** *Tensión tangencial por golpe de ariete [9].* Si se llegase a producir el fenómeno de golpe de ariete sobre la tubería, esta tendera a aumentar su diámetro, ya que estará sometida a esfuerzos tangenciales, esta tensión se la podrá calcular mediante la siguiente expresión:

$$\delta t_a = \frac{P_s * D}{2 * e} \quad (174)$$

Dónde:

- ✓  $P_s$  = Presión actual por golpe de ariete [Pa]
- ✓  $e$  = Espesor nominal de la tubería [m].
- ✓  $D$  = Diámetro nominal de la tubería de presión.

La presión actual por golpe de ariete se calcula por con la expresión:

$$P_s = (H_b + h_s) * g * \rho_{\text{agua}} + P_a \quad (175)$$

Dónde:

- ✓  $H_b$  = Altura bruta [m]
- ✓  $h_s$  = Sobre presión por golpe de ariete [m].
- ✓  $\rho_{\text{agua}}$  = Densidad del agua a 15°C [1000 Kg/m<sup>3</sup>].
- ✓  $P_a$  = Presión atmosférica a 164 m.s.n.m [Pa].

Tomaremos un valor intermedio de los presentados en la tabla 36 para la sobre presión por golpe de ariete, se tendrá un valor de 70 m.

Si nos referiremos al Anexo S, donde interpolando los valores dados, encontraremos que para una altitud de 164 msnm, tendremos una presión atmosférica de 99146,6 Pa.

$$P_s = (164,2 + 70) * 9,81 * 1000 + 99146,6$$

$$P_s = 2,40 \text{ MPa} = 24,47 \text{ Kg/cm}^2.$$

**Tabla 37.** Esfuerzos tangenciales por golpe de ariete.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b>Ps [MPa]</b>	<b>δta [Kgf/cm2]</b>
48	1,195	2,40E+06	1227,29
52	1,289	2,40E+06	990,78
56	1,390	2,40E+06	970,58
60	1,492	2,40E+06	1146,64

**Fuente: Autores**

**5.8.2** *Cálculo de la tensión longitudinal por variación de la temperatura [9].* Es necesario tomar en cuenta ya que la tubería de presión será de Acero al Carbono, este al someterse a variaciones de temperatura, sufre dilataciones y al estar la tubería soportada y apoyada rígidamente en el suelo, existirán esfuerzos longitudinales, es por ello que tendrá:

$$\delta t_e = E * \alpha * (T_{\max} - T_{\min}) \quad (176)$$

Dónde:

- ✓ E = Modulo de elasticidad del material (para acero al carbono 207 GPa) [Anexo R]
- ✓ α = Coeficiente de dilatación térmica (para acero al carbono  $12 \times 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$ ) [Anexo S].
- ✓ Tmax = Temperatura máxima de la zona [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- ✓ Tmin = Temperatura mínima de la zona [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Mediante un análisis y estudios de campo verificativo, podemos decir que en la zona de influencia tendrá los mismos rangos de temperatura que posee la parroquia el Altar, siendo su temperatura máxima alcanzada de  $30^{\circ}\text{C}$  y una temperatura mínima de  $8^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 38.** Esfuerzos longitudinales por variación de temperatura.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b><math>\delta_{te}</math> [Kgf/cm<sup>2</sup>]</b>
48	1,195	55,73
52	1,289	55,73
56	1,390	55,73
60	1,492	55,73

**Fuente:** Autores

Se puede observar que este valor será el mismo para todas las alternativas de tubería de presión.

**5.8.3** *Cálculo de la tensión longitudinal por presión hidrostática [9].* Si se cierra totalmente la válvula de control, el agua permanecerá estática dentro de la tubería, ejerciendo sobre las paredes y válvula una presión hidrostática, lo que provoca que el diámetro interno de la tubería tienda a extenderse y al mismo tiempo la longitud de tubería tienda a aumentar su valor.

Esta tensión se calcula mediante la expresión:

$$\delta_{tl} = 0,025 \frac{P_s * D_i^2}{e(e + D_i)} \quad (177)$$

Dónde:

- ✓  $P_s$  = Presión actual por golpe de ariete [Pa]
- ✓  $D_i$  = Diámetro interno de la tubería de presión [m]
- ✓  $e$  = Espesor nominal de la tubería de presión [m].

**Tabla 39.** Esfuerzos longitudinales por presión hidrostática.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b><math>\delta t_l</math> [Kgf/cm<sup>2</sup>]</b>
48	1,195	30,68
52	1,289	24,77
56	1,390	24,26
60	1,492	28,67

**5.8.4** *Cálculo de la tensión longitudinal por flexión entre apoyos [9].* Ya que la tubería y el agua ejercerán una fuerza sobre los apoyos por su peso, estos se comportarán como una viga apoyada, por lo que estará sujeta a esfuerzos de flexión, los mismos que se podrán calcular mediante la expresión:

$$\delta f = \frac{F * (L_s * 100)^2 * \text{sen}\theta}{8 * W} \quad (178)$$

Dónde:

- ✓ F = Fuerza que ejerce el agua y el peso de la tubería [Kg/cm]
- ✓ L = Longitud entre apoyos (máximo 8 metros).
- ✓  $\theta$  = Ángulo complementario al ángulo de la pendiente total aproximada (68°).
- ✓ W = Momento resistente de la sección transversal de la tubería [cm<sup>3</sup>].

Para determinar la fuerza F:

$$F = \left[ \frac{\gamma_t * \pi * e * (D_i + e)}{100} \right] + \gamma_{\text{agua}} * \pi * \frac{D_i^2}{400} \quad (179)$$

Dónde:

- ✓ F = Fuerza que ejerce el agua y el peso de la tubería [Kg/cm]
- ✓ e = Espesor nominal de la tubería de presión [m]
- ✓  $D_i$  = Diámetro Interno de la tubería de presión [m]

- ✓  $\gamma_t$  = Peso específico de la tubería (para el acero 1372 Kgf/m<sup>3</sup>).
- ✓  $\gamma_{\text{agua}}$  = Peso específico del agua (1000 Kgf/m<sup>3</sup>).

#### 5.8.4.1 Cálculo de la longitud máxima admisible entre apoyos [17].

$$L_{ad} = \sqrt[3]{\frac{16}{75} * \frac{E * I * 100}{F}} \quad (180)$$

Dónde:

- ✓  $L_{ad}$  = Longitud máxima admisible entre apoyos [m]
- ✓  $E$  = Modulo de elasticidad del material (acero al carbono 207 GPa = 2,11X10<sup>6</sup> Kgf/cm<sup>2</sup>) [Anexo V ]
- ✓  $F$  = Fuerza que ejerce el agua y el peso de la tubería [Kg/cm]
- ✓  $I$  = Momento de inercia de la tubería [m<sup>4</sup>].

#### 5.8.4.2 Determinación de la longitud entre apoyos [17].

$$L_s = L_{ad} - \Delta L \quad (181)$$

Dónde:

- ✓  $L_s$  = Longitud entre apoyos [m]
- ✓  $L_{ad}$  = Longitud máxima admisible entre apoyos [m]
- ✓  $\Delta L$  = Longitud de seguridad (2 metros para el acero).

Donde para las diferentes alternativas planteadas tendremos una longitud aproximada entre apoyos de:

**Tabla 40.** Esfuerzos longitudinales por presión hidrostática.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b>Inercia [m<sup>4</sup>]</b>	<b>F [Kgf/cm]</b>	<b>Lad [m]</b>	<b>Ls [m]</b>
48	1,195	0,008	11,84	31,39	29
52	1,289	0,014	13,95	35,39	33
56	1,390	0,017	16,24	36,32	34
60	1,492	0,022	18,52	37,28	35

**Fuente:** Autores

Observando los resultados obtenidos, vemos que las distancias entre apoyos son demasiadas grandes, y pese a esto como se menciona en la referencia [1], tomaremos una distancia entre apoyos de 8 metros.

Procedemos a calcular el momento resistente tomaremos la referencia [18], en donde tendremos:

$$W = \frac{\pi}{32} * \frac{D^4 - Di^4}{D} * 100^3 \quad (182)$$

Dónde:

- ✓ W = Momento resistente de la sección transversal de la tubería [cm<sup>3</sup>].
- ✓ D = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].
- ✓ Di = Diámetro interior de la tubería de presión [m].

Entonces la tensión longitudinal que soportaran las alternativas serán:

**Tabla 41.** Esfuerzos longitudinales por flexión entre apoyos.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b>F [Kgf/cm]</b>	<b>Ls [m]</b>	<b>W [cm³]</b>	<b>δf [Kgf/cm²]</b>
48	1,195	11,84	8,00	13486,68	61,80
52	1,289	13,95	8,00	21017,45	46,72
56	1,390	16,24	8,00	24565,32	46,53
60	1,492	18,52	8,00	28279,90	46,10

**Fuente:** Autores

**5.8.5** *Cálculo de la tensión longitudinal por variación de pendiente [3].* La pendiente que tendrá nuestro campo, tendrá origenara que se produzcan tensiones por la variación de la pendiente, es por ello que su valor se lo calculara mediante la ecuación:

$$\delta j = \frac{F * Ls * \cos \theta_1}{\pi * e * (Di + e) * 100} \quad (183)$$

Dónde:

- ✓ F = Fuerza que ejerce el agua y el peso de la tubería [Kg/cm]
- ✓ Di = Diámetro interior de la tubería de presión [m].
- ✓ Ls = Longitud entre apoyos [m]
- ✓  $\theta_1$  = Angulo complementario al ángulo de la pendiente total aproximada (68°).

Entonces para las diferentes alternativas tendremos:

**Tabla 42.** Esfuerzos longitudinales por variación de la pendiente.



<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b>F [Kgf/cm]</b>	<b>Ls [m]</b>	<b>δj [Kgf/cm<sup>2</sup>]</b>
48	1,195	11,84	8,00	7,86
52	1,289	13,95	8,00	6,41
56	1,390	16,24	8,00	6,29
60	1,492	18,52	8,00	7,37

**Fuente:** Autores

#### 5.8.6 *Cálculo del esfuerzo equivalente [9].*

$$\delta_{eq} = \sqrt{\delta_{ta}^2 + (\delta_{te} + \delta_{tl} + \delta_f + \delta_j)^2} \quad (184)$$

Dónde:

- ✓  $\delta_{ta}$  = Esfuerzo de la tensión tangencial por golpe de ariete [Kg/cm<sup>2</sup>].
- ✓  $\delta_{te}$  = Esfuerzo de la tensión longitudinal por variación de temperatura [Kg/cm<sup>2</sup>].
- ✓  $\delta_{tl}$  = Esfuerzo de la tensión longitudinal por presión hidrostática [Kg/cm<sup>2</sup>].
- ✓  $\delta_f$  = Esfuerzo de la tensión longitudinal por flexión entre apoyos [Kg/cm<sup>2</sup>].
- ✓  $\delta_j$  = Esfuerzo de la tensión longitudinal por variación de pendiente [Kg/cm<sup>2</sup>].

Entonces las tensiones equivalentes para las diferentes alternativas de diámetro serán:

**Tabla 43.** Esfuerzos equivalentes en el sistema de presión

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b><math>\delta_{eq}</math> [Kgf/cm<sup>2</sup>]</b>
48	1,195	1237,17
52	1,289	999,75
56	1,390	979,62
60	1,492	1154,89

**Fuente:** Autores

Luego se verificar si las alternativas planteadas, cumplen los mínimos diseños de seguridad que se debe tener en este tipo de obras, una de las principales condiciones a cumplir será:

$$\delta_{ad} \geq \delta_{eq} \quad (185)$$

Dónde:

- ✓  $\delta_{ad}$  = Esfuerzo admisible [Kg/cm<sup>2</sup>].
- ✓  $\delta_{te}$  = Esfuerzo equivalente [Kg/cm<sup>2</sup>].

Si se llegase a cumplir esta condición, las alternativas que lo hagan podrán ser tomadas en cuenta como futuras probabilidades de ser la alternativa final elegida, como se nos indica en la referencia [18], el esfuerzo admisible para el acero al carbono según la norma AISI B31.4 es de  $\delta_{ad} = 1771,672 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### **5.8.7** *Cálculo de coeficiente de seguridad para la tubería de presión [9].*

$$ns = \frac{\delta_{ad}}{\delta_{eq}} \quad (186)$$

Dónde:

- ✓  $ns$  = Coeficiente de seguridad.
- ✓  $\delta_{ad}$  = Esfuerzo admisible [Kg/cm<sup>2</sup>].

✓  $\delta_{te}$  = Esfuerzo equivalente [Kg/cm<sup>2</sup>].

Es decir que para nuestras alternativas planteadas tendremos un coeficiente de seguridad, los mismos que se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 44.** Coeficientes de seguridad para la tubería de presión.

<b>Diámetro Nominal [in]</b>	<b>Diámetro Interno [m]</b>	<b><math>\delta_{eq}</math> [Kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b><math>\delta_{ad}</math> [Kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>ns</b>
48	1,195	1237,17	1771,672	1,43
52	1,289	999,75	1771,672	1,81
56	1,390	979,62	1771,672	2,01
60	1,492	1154,89	1771,672	1,53

**Fuente:** Autores

**5.8.8** *Análisis y selección final de la tubería de presión.* En este ítem se procede a analizar alternativa por alternativa planteada para la tubería de presión y así elegir la más adecuada:

**a) Tubería de acero comercial, tipo api, grado b de 48” de diámetro nominal.**

*Ventajas*

- Su costo es relativamente bajo comparado con las demás alternativas.

*Desventajas*

- El porcentaje de perdidas es mayor y no adecuado.
- No resiste la presión de trabajo, es decir se tendría que tomar una tubería con un espesor mucho más grande lo cual afectaría en los costos.
- La velocidad del agua en ella, es demasiada alta, lo cual aceleraría el proceso de deterioro del material.

### *Conclusión*

- Como se nota, esta alternativa posee más desventajas que las ventajas que nos podría brindar, es por ello que esta queda descartada.

### **b) Tubería de acero comercial, tipo api, grado b de 52” de diámetro nominal.**

#### *Ventajas*

- Su porcentaje de perdidas es relativamente aceptable.
- El espesor de esta tubería, podría soportar la presión de trabajo.

#### *Desventajas*

- La velocidad del agua es alta, por lo que el proceso de deterioro del material seria acelerado.
- El índice de seguridad es muy bajo, comparado al índice requerido en este tipo de obras.

### *Conclusión*

- Esta alternativa también la descartaremos, ya que el índice de seguridad que esta nos brinda, no es satisfactorio ni el adecuado.

### **c) Tubería de acero comercial, tipo api, grado b de 56” de diámetro nominal.**

#### *Ventajas*

- Soportara la presión de trabajo, ya que el espesor requerido es mucho menor al espesor que se tiene disponible.
- El porcentaje de pérdidas es muy bajo, por lo cual sería el adecuado en estas construcciones.

- La velocidad del agua es adecuada, ya que este valor aseguraría y desgaste progresivo del material y una velocidad adecuada para mover las maquinas generadoras.
- El factor de seguridad que nos ofrece esta alternativa, nos asegura que no existirán fallas por esfuerzos en nuestra tubería.

#### *Desventajas*

- El costo de la tubería es mucho mayor a las alternativas presentadas anteriormente.
- El peso de esta tubería se incrementara, por lo que su traslado e instalación se hacen complicadas.

#### *Conclusión*

- La alternativa analizada, se presenta como una de las mejores opciones para ser seleccionada, ya que brinda más beneficios que las alternativas anteriormente estudiadas.

#### **d) Tubería de acero comercial, tipo api, grado b de 60” de diámetro nominal.**

##### *Ventajas*

- El porcentaje de perdidas es menor a todas las alternativas planteadas.
- La velocidad del agua es baja, lo que asegura su duración en un largo tiempo de funcionamiento continuo.

##### *Desventajas*

- Su diámetro nominal es relativamente grande, por lo que su costo será elevado.
- El coeficiente de seguridad es bueno, pero mas no el adecuado.
- Por ser una tubería grande, su peso aumentara por lo tanto su transporte e estación sea complicado.

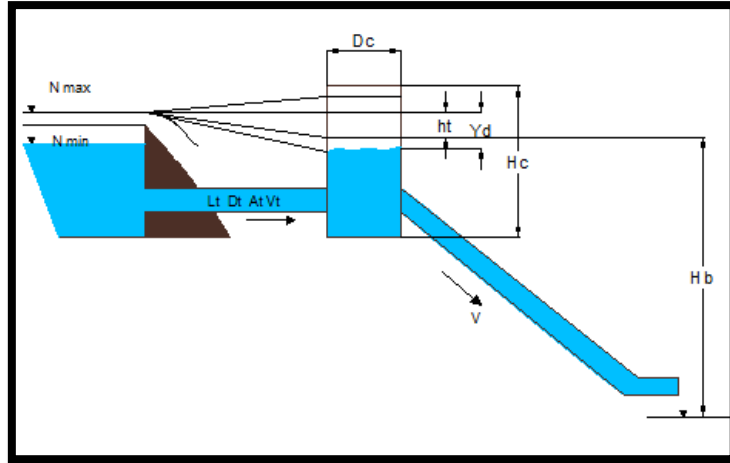
### *Conclusión*

- La alternativa analizada no ofrece una seguridad sobre su capacidad de funcionamiento, es por ello que se la desecha.

**5.8.9** *Chimenea de equilibrio o almenara [9].* Si se cerrase la válvula de control de la turbina, se producirá una energía cinética sobre la tubería de presión, que provocara un aumento del nivel del agua.

Es por ello que se deberá realizar un análisis de la necesidad de construcción de una almenara, que ayudara a evacuar la energía liberada por el cierre brusco de la válvula de control.

**Figura 74.** Dimensiones y esquema de una chimenea de equilibrio.



**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Para determinar si existe la necesidad de instalación de una almenara, deberemos ver si se cumple la siguiente relación:

$$\frac{L_{tp}}{H_b} \leq 5 \quad (187)$$

Dónde:

- ✓  $L_{tp}$  = Longitud de la tubería de presión [m].
- ✓  $H_b$  = Altura bruta [m].

Entonces se tendrá:

$$\frac{355,76}{164,2} \leq 5$$

$$2,17 \leq 5 \quad \mathbf{OK}$$

Como se comprueba, la central hidroeléctrica tendrá la necesidad de poseer una almenara, por lo cual se continuara su dimensionamiento hallando diferentes parámetros como:

*a) Área de conducción [9]*

$$A_t = \pi * \frac{D_i^2}{4} \quad (188)$$

Dónde:

✓  $D_i$  = Diámetro Interno de la Tubería de presión [m].

*b) Velocidad de conducción [9].*

$$V_t = \frac{Q_{tp}}{A_t} \quad (189)$$

Dónde:

✓  $Q_{tp}$  = Caudal en la tubería de presión [m<sup>3</sup>/s].

✓  $A_t$  = Área de conducción [m<sup>2</sup>].

*c) Pérdidas por fricción.*

$$h_a = \left( \frac{\lambda * L_{tp}}{D_i} \right) * \frac{V_t^2}{2g} \quad (190)$$

Dónde:

✓  $\lambda$  = coeficiente de pérdidas por longitud de tubería.

✓  $L_{tp}$  = Longitud de la tubería de presión [m].

✓  $D_i$  = Diámetro interno de la tubería de presión [m].

✓  $V_t$  = Velocidad de conducción [m/s].

El coeficiente de pérdidas por longitud de tubería  $\lambda$ , está en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa del material, (Anexo N).

*d) Pérdidas totales de presión [9].*

$$h_{tt} = 1,04 * h_a \quad (191)$$

Dónde:

✓  $h_a$  = pérdidas por fricción en la tubería de presión [m].



*e) Área de la sección transversal de la almenara [9].*

$$Ac = \frac{Vt^2}{2g} * \frac{Ltp * At}{(Hb - htt)htt} \quad (192)$$

Dónde:

- ✓  $Vt$  = Velocidad de conducción [m/s].
- ✓  $htt$  = pérdidas por totales en la tubería de presión [m].
- ✓  $Ltp$  = Longitud de la tubería de presión [m].
- ✓  $Hb$  = Altura bruta [m].
- ✓  $At$  = Área de conducción [m<sup>2</sup>].

*f) Cálculo del diámetro de la almenara [9].*

$$Dc = \sqrt{\frac{4Ac}{\pi}} \quad (193)$$

Dónde:

- ✓  $Ac$  = Área de la sección transversal [m<sup>2</sup>].

*g) Cálculo de la sobrepresión teórica [9].*

$$ye = yd = Vt * \sqrt{\frac{At * Ltp}{g * Ac}} \quad (194)$$

Dónde:

- ✓  $ye$  = Sobre presión teórica por golpe de ariete [m].
- ✓  $Vt$  = Velocidad de conducción [m/s].
- ✓  $Ltp$  = Longitud de la tubería de presión [m].
- ✓  $Ac$  = Área de la sección transversal [m<sup>2</sup>].

*h) Cálculo del factor de pérdidas de presión [9].*

$$K = \frac{h_{tt}}{y_e} \quad (195)$$

Dónde:

- ✓  $y_e$  = Sobre presión teórica por golpe de ariete [m].
- ✓  $h_{tt}$  = Pérdidas por totales en la tubería de presión [m].

*i) Cálculo del factor de pérdidas por presión por efecto de golpe de ariete [9].*

$$Z_e = 1 - \frac{2}{3}K + \frac{1}{9}K^2 \quad (196)$$

Dónde:

- ✓  $K$  = Factor de pérdida por presión [m].

*j) Cálculo del sobrepresión real [9].*

$$Y_E = y_e * Z_e \quad (197)$$

Dónde:

- ✓  $y_e$  = Sobre presión teórica por golpe de ariete [m].
- ✓  $Z_e$  = Factor de pérdida de presión por efecto del golpe de ariete [m].

*k) Cálculo del factor real de pérdidas por presión por efecto del golpe de ariete  $Z_d$  y  $Z_d'$ .*

$$Z_d = 1 - 0.593K^3 + 1.556K^2 - 1.683K \quad (198)$$

$$Z_d' = 0.131K^2 + 0.353K + 0.5 \quad (199)$$

Dónde:

- ✓  $K$  = Factor de pérdida por presión [m].

Una vez calculados los factores reales de pérdida de presión por golpe de ariete, deberemos observar cuál de ellos tiene su mayor valor, para así con el proceder a calcular la sobrepresión real para un caso crítico.

*l) Cálculo de la sobre presión real para un caso crítico.*

$$Y_D = y_e * (Z_d \vee Z_d')$$
 (200)

Dónde:

- ✓  $y_e$  = Sobre presión teórica por golpe de ariete [m].
- ✓  $Z_d$  y  $Z_d'$  = Factor real de pérdida de presión por efecto del golpe de ariete [m].

*m) Cálculo de la altura mínima de la almenara.*

$$H_{c_{min}} = Y_E + Y_D + 2 + D_i$$
 (201)

Dónde:

- ✓  $Y_E$  = Sobre presión real por golpe de ariete [m].
- ✓  $Y_D$  = Factor real de perdida de presión por efecto del golpe de ariete [m].
- ✓  $D_i$  = Diámetro interno de la tubería de presión [m].

**Tabla 45.** Dimensiones principales de la almenara.

<b>Dn</b> [m]	<b>e</b> [m]	<b>Dint</b> [m]	<b>At</b> [m <sup>2</sup> ]	<b>Vt</b> [m/s]	<b>Re</b>	<b>E/D</b>	$\lambda$	<b>ha</b> [m]
1,422	0,018	1,39	1,52	3,21	4059544,00	0,00003	0,009	0,02

**Fuente:** Autores

<b>ht</b> [m]	<b>Ac</b> [m <sup>2</sup> ]	<b>Dc</b> [m]	<b>Ye</b> [m]	<b>K</b>	<b>Ze</b>	<b>YE</b> [m]
------------------	--------------------------------	------------------	------------------	----------	-----------	------------------

0,018	1,373	1,32	2,41	0,01	1,00	2,40
-------	-------	------	------	------	------	------

Entonces  
los parámetros  
mencionados  
tubería de presión seleccionada tendremos:

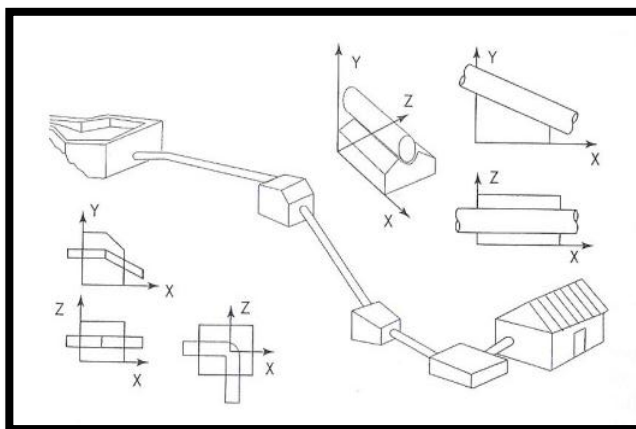
Zd	Zd'	Yd	Hc min [m]
0,99	0,50	2,38	8,17

resumiendo todos  
antes  
para nuestra

## 5.9 Diseño del sistema de apoyos. [2]

El perfil de la tubería de presión se adaptara a las condiciones del terreno y a su pendiente respectiva, es por ello que durante su trayecto, la tubería de presión deberá sostenerse sobre estructuras de concreto llamadas apoyos y en los lugares en donde se requiera que la tubería de presión cambie su pendiente mediante la utilización de codos, se deberá utilizar un anclaje.

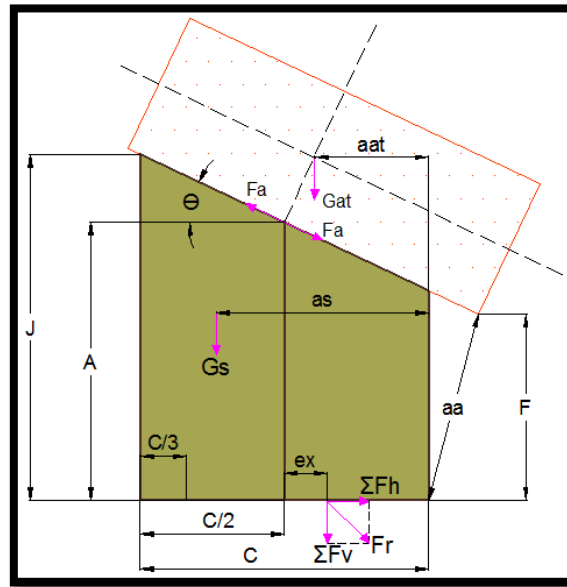
**Figura 75.** Dimensiones y esquema de una chimenea de equilibrio.



**Fuente:** ITDG. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas.

**5.9.1** *Diseño de bloques de apoyo [9]* .El diseño de bloques de apoyo se realiza tomando en cuenta parámetros de seguridad y que brinden la confiabilidad necesaria para nuestra tubería de presión de diámetro nominal 56 in [1,422 m], estos parámetros son:

**Figura 76.** Dimensiones principales de un apoyo



**Fuente:** Ortiz, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

**a)** *Altura mínima.*

$$E_{\min} = 0,25 * D_n \quad (202)$$

Dónde:

- ✓  $E_{\min}$  = Altura mínima del apoyo [m].
- ✓  $D_n$  = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].

**b)** *Ancho del bloque “B”.*

$$B = 1,5 * D_n \quad (203)$$

Dónde:

- ✓ B= Ancho de bloque [m].
- ✓ Dn = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].

*c) Largo del bloque “C”.*

$$C = 1.9 * Dn \quad (204)$$

Dónde:

- ✓ C= Largo de bloque [m].
- ✓ Dn = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].

*d) Altura del bloque “A”.*

$$A = 1,2 * Dn \quad (205)$$

Dónde:

- ✓ A= Altura del bloque A [m].
- ✓ Dn = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].

*e) Cálculo de la distancia “J”.*

$$J = A + 0.5 * C * \tan\theta \quad (206)$$

Dónde:

- ✓ A= Altura del bloque A [m].
- ✓ C= Ancho de bloque [m].
- ✓  $\Theta_1$  = Pendiente del tramo.

*f) Cálculo de la distancia “F”.*

$$F = A - 0.5 * C * \tan\theta \quad (207)$$

Dónde:

- ✓ A= Altura del bloque A [m].

- ✓ C= Ancho de bloque [m].
- ✓  $\Theta_1$ = Pendiente del tramo.

Entonces, se calcula las dimensiones principales los apoyos para los diferentes tramos donde se tendrá:

**Tabla 46.** Dimensiones principales de los apoyos según el tramo.

TRAMOS	PENDIENTE	LONGITUD DEL TRAMO	Ls [m]	E <sub>min</sub> [m]	B [m]	C [m]	A [m]	F [m]	J [m]
1	33	187,19	8	0,36	2,70	2,70	1,71	0,83	2,58
2	12	10,35	5	0,36	2,70	2,70	1,71	1,42	1,99
3	38	5,82	3	0,36	2,70	2,70	1,71	0,65	2,76
4	24	12,8	6	0,36	2,70	2,70	1,71	1,10	2,31
5	15	16,58	8	0,36	2,70	2,70	1,71	1,34	2,07
6	31	7,05	3	0,36	2,70	2,70	1,71	0,89	2,52
7	20	6,24	3	0,36	2,70	2,70	1,71	1,21	2,20
8	56	6	3	0,36	2,70	2,70	2,28	0,27	4,28
9	5	10,44	5	0,36	2,70	2,70	1,71	1,59	1,82
10	22	17,29	8	0,36	2,70	2,70	1,71	1,16	2,25
11	16	31,37	8	0,36	2,70	2,70	1,71	1,32	2,09
12	31	20,33	8	0,36	2,70	2,70	1,71	0,89	2,52
13	50	7,15	3	0,36	2,70	2,70	2,28	0,67	3,89
14	4	9,06	4	0,36	2,70	2,70	1,71	1,61	1,80
15	35	8,09	4	0,36	2,70	2,70	1,71	0,76	2,65

**Fuente:** Autores

**5.9.2** *Fuerzas actuantes sobre los apoyos [9].* Los apoyos jugaran un papel importante dentro de la seguridad en el sistema de presión, ya que sobre ellos descansan fuerzas actuantes como el peso propio de la tubería y el peso del agua, por lo que su análisis es de vital importancia.

a) Fuerza por el peso de la tubería y por el peso del agua.

$$G_{at} = G_a + G_t \quad (208)$$

Dónde:

- ✓  $G_a$ = Peso del agua [Kgf].
- ✓  $G_t$ = Peso de la tubería [Kgf].

Para encontrar los parámetros antes mencionados utilizaremos las siguientes expresiones:

$$G_a = \gamma_a * \frac{\pi * D_i^2}{4} * L_s \quad (209)$$

$$G_t = \gamma_t * \pi * e * (D_i + e) * L_s \quad (210)$$

Dónde:

- ✓  $\gamma_a$ = Peso específico del agua [9791,03 Kgf/m<sup>3</sup>].
- ✓  $\gamma_t$ = Peso de la tubería [76930 Kgf/m<sup>3</sup>].
- ✓  $L_s$ =Longitud entre apoyos [m].
- ✓  $e$ = Espesor de la tubería [17,5mm].

b) Fuerza por el peso del apoyo  $G_s$ .

$$G_s = \gamma_s * V_s \quad (211)$$

Dónde:

- ✓  $\gamma_s$ = Peso específico del concreto [2400 Kgf/m<sup>3</sup>].
- ✓  $V_s$ =Volumen del apoyo [m<sup>3</sup>].

Para calcular el volumen del apoyo, se utiliza la siguiente expresión:

$$V_s = \frac{C * B}{3} * (F + J + C\sqrt{F * J}) + \frac{C * (D_i + 2e)}{4 * \cos \theta l} * \left( B - \frac{\pi * (D_i + 2e)}{180} * \arctan \left( \frac{B}{D} \right) \right) \quad (212)$$



Dónde:

- ✓ Di= Diámetro interno de la tubería de presión [1,387 m].
- ✓ C= Ancho de bloque [m].
- ✓ B= Ancho de bloque [m].
- ✓ e= Espesor de la tubería [0,0175m].

c) *Fuerza de por fricción entre tuberías y apoyos Fa'.*

$$Fa' = \mu_K * (Ga + Gt) * \cos \theta_1 \quad (213)$$

Dónde:

- ✓  $\mu_K$ = Coeficiente de rozamiento (Ver Tabla 47 )
- ✓ Ga= Peso del agua [Kgf].
- ✓ Gt= Peso de la tubería [Kgf].
- ✓  $\theta_1$ = Pendiente del tramo.

**Tabla 47.** Coeficiente de rozamiento entre diversos materiales.

Coeficiente de Rozamiento	$\mu_K$
Acero sobre hormigón con capa intermedia de cartón asfaltado	0.40
Acero sobre hormigón o mampostería de piedra	0.40 – 0.50
Acero sobre acero	0.30 – 0.50
Acero sobre acero con lubricante de grafito	0.20
Acero sobre acero con lubricante sólido	0.12 – 0.10
Apoyos con cojinetes de rodillos o soportes basculantes	0.05 – 0.10

d) *Cálculo del empuje horizontal.*

$$\Sigma F_H = Fa * \cos \theta_1 \quad (214)$$

Dónde:

✓  $F_a$  = Resistencia al deslizamiento del apoyo a la tubería

Para calcular la resistencia al deslizamiento que ofrece el apoyo a la tubería, podremos hacerlo de mediante la utilización de la siguiente ecuación:

$$F_a = 1,2 * F_a' \quad (215)$$

*e) Cálculo de la sumatoria de esfuerzos verticales.*

$$\Sigma F_v = G_s + G_{at} + F_a * \text{sen}\theta_1 \quad (216)$$

*f) Cálculo de la fuerza de fricción entre el apoyo y el suelo.*

$$F_{ab} = 0,35 * (G_s + G_{at} + F_a * \text{sen}\theta_1) \quad (217)$$

Es decir, las fuerzas que actuarán sobre los apoyos serán:

**Tabla 48.** Resumen de fuerzas actuantes sobre los apoyos según el tramo.

<b>TRAMOS</b>	<b>PENDIENTE</b>	<b>LONGITUD DEL TRAMO</b>	<b>Ga [Kgf]</b>	<b>Gt [Kgf]</b>	<b>Gat [Kgf]</b>	<b>Vs [m3]</b>	<b>Gs [Kgf]</b>	<b>Fa' [Kgf]</b>	<b>Fa [Kgf]</b>	<b>Fh [Kgf]</b>	<b>Fv [Kgf]</b>	<b>Fab [Kgf]</b>
<b>1</b>	33	187,19	124396,29	48706,32	173102,61	19,40	46569,87	43552,82	47908,10	40179,12	245765,10	86017,79
<b>2</b>	12	10,35	77747,68	30441,45	108189,13	20,63	49510,78	31747,48	34922,23	34159,10	164960,66	57736,23
<b>3</b>	38	5,82	46648,61	18264,87	64913,48	18,69	44860,74	15345,76	16880,33	13301,88	120166,79	42058,38
<b>4</b>	24	12,8	93297,22	36529,74	129826,96	20,16	48381,88	35580,85	39138,93	35755,20	194128,08	67944,83
<b>5</b>	15	16,58	124396,29	48706,32	173102,61	20,55	49320,47	50161,29	55177,41	53297,29	236704,05	82846,42
<b>6</b>	31	7,05	46648,61	18264,87	64913,48	19,62	47082,84	16692,51	18361,77	15739,10	121453,33	42508,67
<b>7</b>	20	6,24	46648,61	18264,87	64913,48	20,37	48877,27	18299,62	20129,58	18915,61	120675,47	42236,41
<b>8</b>	56	6	46648,61	18264,87	64913,48	20,39	48925,72	10889,75	11978,72	6698,42	123770,01	43319,50
<b>9</b>	5	10,44	77747,68	30441,45	108189,13	20,74	49774,95	32333,23	35566,56	35431,21	161063,91	56372,37
<b>10</b>	22	17,29	124396,29	48706,32	173102,61	20,27	48647,50	48149,38	52964,32	49107,67	241590,90	84556,81
<b>11</b>	16	31,37	124396,29	48706,32	173102,61	20,52	49245,24	49919,07	54910,98	52783,82	237483,37	83119,18
<b>12</b>	31	20,33	124396,29	48706,32	173102,61	19,62	47082,84	44513,37	48964,71	41970,95	245404,15	85891,45
<b>13</b>	50	7,15	46648,61	18264,87	64913,48	23,57	56567,13	12517,67	13769,44	8850,83	132028,61	46210,01
<b>14</b>	4	9,06	62198,15	24353,16	86551,31	20,75	49794,22	25902,14	28492,36	28422,95	138333,06	48416,57
<b>15</b>	35	8,09	62198,15	24353,16	86551,31	19,15	45969,85	21269,60	23396,56	19165,34	145940,87	51079,31

**5.9.3 Verificación de estabilidad del apoyo [9].** Se debe verificar que el diseño de nuestros apoyos, cumplan con los requerimientos de seguridad, uno de ellos será que estos posean una estabilidad en el terreno adecuada, para lo cual deberán cumplir la siguiente condición:

*a) Condición 1*

$$\frac{F_{ab}}{\sum F_H} \geq 1,5 \quad (218)$$

Los resultados de la condición propuesta para cada apoyo se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 49.** Análisis de la condición de estabilidad de los apoyos según el tramo.

TRAMOS	Fh [Kgf]	Fab [Kgf]	Condición	Conclusión
1	40179,12	95789,31	2,38	CUMPLE
2	34159,10	60630,08	1,77	CUMPLE
3	13301,88	54219,99	4,08	CUMPLE
4	35755,20	74329,68	2,08	CUMPLE
5	53297,29	86539,47	1,62	CUMPLE
6	15739,10	51443,61	3,27	CUMPLE
7	18915,61	47361,25	2,50	CUMPLE
8	6698,42	63703,20	9,51	CUMPLE
9	35431,21	57530,80	1,62	CUMPLE
10	49107,67	90297,04	1,84	CUMPLE
11	52783,82	87087,81	1,65	CUMPLE
12	41970,95	94826,39	2,26	CUMPLE
13	8850,83	59901,72	6,77	CUMPLE
14	28422,95	49338,83	1,74	CUMPLE
15	19165,34	61749,92	3,22	CUMPLE

**Fuente:** Autores

Se calcula la distancia “as” al centro de gravedad del apoyo:

$$as = \frac{C}{14,4 * D} * (7,2 * Dn + C * \tan\theta_1) \quad (219)$$

Luego se calcula las distancias “aa” y “at”:

$$aa = (A - 0,5 * C * \tan\theta_1) * \cos\theta_1 \quad (220)$$

$$aat = 0,5 * (C - Dn * \sin\theta_1) \quad (221)$$

Ahora se calcula la distancia “ex”, a la cual debe pasar la suma de los esfuerzos verticales para que el apoyo no se voltee, para lo cual se utiliza la expresión:

$$ex = \frac{(\sum F_v * 0,5 * C) - (G_s * a_s) - (G_{at} * a_{at}) + (F_a * a_a)}{\sum F_v} \quad (222)$$

Se verifica que se cumpla la segunda condición de estabilidad que nos dice:

*b) Condición 2*

$$ex \leq \frac{C}{6} \quad (223)$$

Los resultados de la condición propuesta para cada apoyo se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 50.** Análisis de la segunda condición de estabilidad de los apoyos según el tramo.

TRAMOS	as [m]	aa [m]	aat [m]	ex [m]	Condición	Conclusión
1	1,58	0,70	0,96	0,43	0,45	CUMPLE
2	1,43	1,39	1,20	0,4	0,45	CUMPLE
3	1,63	0,51	0,91	0,19	0,45	CUMPLE
4	1,51	1,01	1,06	0,41	0,45	CUMPLE
5	1,45	1,30	1,17	0,47	0,45	CUMPLE
6	1,57	0,77	0,98	0,24	0,45	CUMPLE
7	1,48	1,14	1,11	0,29	0,45	CUMPLE
8	1,88	0,17	0,76	0,29	0,45	CUMPLE
9	1,38	1,58	1,29	0,04	0,45	CUMPLE
10	1,49	1,08	1,08	0,40	0,45	CUMPLE
11	1,45	1,27	1,15	0,44	0,45	CUMPLE
12	1,57	0,77	0,98	0,44	0,45	CUMPLE
13	1,78	0,06	0,81	0,44	0,45	CUMPLE
14	1,38	1,61	1,30	0,06	0,45	CUMPLE
15	1,60	0,62	0,94	0,37	0,45	CUMPLE

**Fuente:** Autores

**5.9.4** *Condición de resistencia al terreno [9].* Se deberá garantizar que el apoyo no se vaya a enterrar, ya que los esfuerzos que se transmitirán al terreno, no deberán superar los esfuerzos que estos puedan soportar, por lo que:

*a) Condición 3.*

$$\psi_c \leq \psi_{ad} \quad (224)$$

**b) Condición 4.**

$$\psi_t \geq 0 \quad (225)$$

Dónde:

- ✓  $\Psi_c$ = Tensión a la compresión ejercida por el apoyo [Kgf/m<sup>2</sup>].
- ✓  $\Psi_t$ = Tensión a la tracción ejercida por el apoyo [Kgf/m<sup>2</sup>].
- ✓  $\Psi_{ad}$ = Esfuerzo admisible según el tipo de suelo [Kgf/m<sup>2</sup>]. (Ver Tabla 50)

$$\psi_c = \frac{\sum F_v}{B * C} * \left( 1 + \frac{6 * e_x}{C} \right) \quad (226)$$

$$\psi_t = \frac{\sum F_v}{B * C} * \left( 1 - \frac{6 * e_x}{C} \right) \quad (227)$$

Dónde:

- ✓  $\Psi_c$ = Tensión a la compresión ejercida por el apoyo [Kgf/m<sup>2</sup>].
- ✓  $\Psi_t$ = Tensión a la tracción ejercida por el apoyo [Kgf/m<sup>2</sup>].
- ✓  $\Sigma F_v$ = sumatoria de fuerza verticales [Kgf].
- ✓ B= Ancho del apoyo [m].
- ✓ C = Longitud del apoyo [m].
- ✓  $e_x$ = Distancia a la cual deben pasar la suma de esfuerzos verticales [m].

**Tabla 51.** Análisis de la segunda condición de estabilidad de los apoyos según el tramo.

<b>TIPO DE SUELO DE APOYO</b>	<b><math>\Psi_{ad}</math> [Kgf/m<sup>2</sup>]</b>
Roca granítica	$4,2 \times 10^3$
Roca calcárea o arena gruesa	$2,8 \times 10^5$
Pedregal	$2,8 \times 10^4$
Arcilla dura	$1,5 \times 10^4$

**Fuente:** Autores

Entonces se realiza la comprobación de las condiciones planteadas anteriormente, y sabiendo que la tubería se instalara en un terreno de arena gruesa, se presenta los resultados en la tabla de resultados:

**Tabla 52.** Análisis de la tercera y cuarta condición de estabilidad de los apoyos según el tramo.

<b>TRAMOS</b>	<b><math>\Psi_c</math> [Kgf/m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>\Psi_t</math> [Kgf/m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>\Psi_{ad}</math> [Kgf/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Condición 3</b>	<b>Condición 4</b>
1	73294,50	1690,19	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
2	33743,90	13717,85	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
3	40544,59	1899,28	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
4	59458,69	1272,78	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
5	51924,90	15818,93	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
6	33102,65	7167,84	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
7	30475,76	6599,03	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
8	27148,56	22718,85	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
9	42520,29	2515,31	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
10	69876,88	808,41	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
11	67393,40	779,68	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
12	73381,94	848,97	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
13	26569,81	20321,77	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
14	35179,14	3443,72	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE
15	39197,77	9140,60	2,80E+05	CUMPLE	CUMPLE

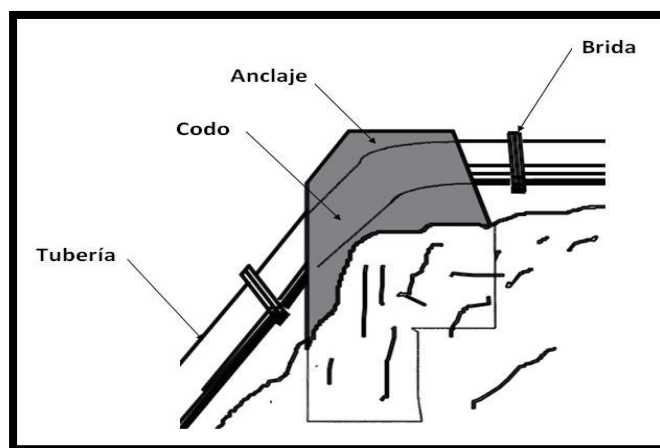
**Fuente:** Autores



**5.9.5** *Diseño de bloques de anclaje [9].* El anclaje es un bloque de hormigón que cubriendo totalmente a la tubería de presión impiden su movimiento lineal.

Estos tendrán como función principal ajustar la tubería al perfil topográfico del terreno y serán el punto en donde se podrá variar la pendiente horizontal y/o vertical.

**Figura 77.** Constitución de un apoyo

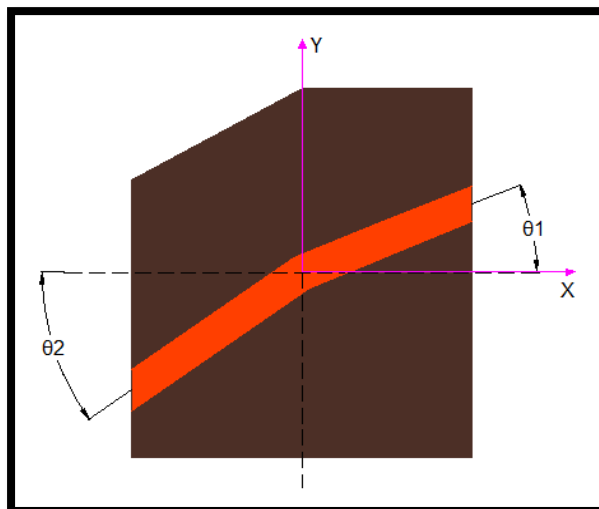


**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas centrales hidroeléctricas

Como se observa en la figura anterior, la constitución y el tamaño de un anclaje se justifica, ya que deberá resistir las cargas que se generen, por lo cual deberá estar correctamente anclado en el terreno.

Para la determinar estas fuerzas, se debe analizar la tubería en dos tramos: aguas arriba que estará representado por la letra *m* y aguas abajo que estará representado por la letra *j*. Para un correcto dimensionamiento del anclaje se toma en cuenta que existen los ángulos  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ , mismos que se muestran en la siguiente figura:

**Figura 78.** Constitución de los ángulos de un apoyo



**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas centrales hidroeléctricas

En la siguiente tabla, se muestra los diferentes valores que tienen los ángulos  $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$ , los mismos que servirán para dimensionar los anclajes.

**Tabla 53.** Ángulos aguas arriba y abajo para el dimensionamiento de anclajes.

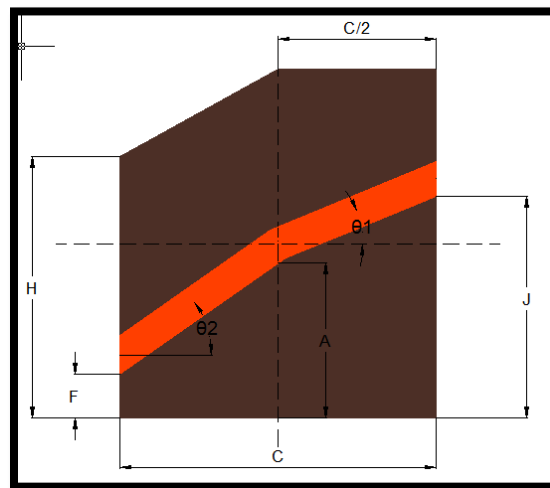
TRAMOS	$\Theta_1$	$\Theta_2$	Altura Del Anclaje [m]	Longitud Del Tramo [m]
1	0	33	0	0
2	33	12	100	187,19
3	12	38	102,3	10,35
4	38	24	105,8	5,82
5	24	15	111	12,8
6	15	31	115,5	16,58
7	31	20	119	7,05
8	20	56	121	6,24
9	56	5	126	6
10	5	22	127	10,44
11	22	16	133,3	17,29

<b>12</b>	16	31	137,8	31,37
<b>13</b>	31	50	143,3	20,33
<b>14</b>	50	4	154,3	7,15
<b>15</b>	4	35	159,6	9,06
<b>16</b>	35	0	164,2	8,09

**Fuente:** Autores

#### 5.9.5.1 Diseño y dimensionamiento de anclajes [9].

**Figura 79.** Dimensiones principales de un anclaje



**Fuente:** ORTIZ, Ramiro. Pequeñas centrales hidroeléctricas

##### a) Cálculo de la longitud “A”.

La longitud entre la base del anclaje y el cambio de dirección de la tubería de presión, estará dada mediante la ecuación:

$$A = 4 * D_n \quad (228)$$

Dónde:

✓  $D_n$  = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].

*b) Cálculo de la altura del anclaje “B”.*

$$B = 3 * Dn \quad (229)$$

*c) Cálculo del ancho del anclaje “C”.*

$$C = 3 * Dn \quad (230)$$

*d) Cálculo de la distancia inferior entre la base del anclaje y la tubería de presión “F”.*

$$F = A - 0,5 * C * \tan\theta_2 \quad (231)$$

Dónde:

- ✓ A= Altura del bloque A [m].
- ✓ C= Ancho de bloque [m].
- ✓  $\theta_2$ = Angulo de inclinación de la tubería de presión aguas abajo.

*e) Cálculo de la distancia superior entre la base del anclaje y la tubería de presión “J”.*

$$J = A + 0,5 * C * \tan\theta_1 \quad (232)$$

Dónde:

- ✓ A= Altura del bloque A [m].
- ✓ C= Ancho de bloque [m].
- ✓  $\theta_1$ = Angulo de inclinación de la tubería de presión aguas arriba.

*f) Cálculo de la altura del anclaje aguas abajo “H”.*

$$H = 1,5 * Dn + F \quad (233)$$

Dónde:

- ✓ Dn = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].

✓ F= Distancia inferior entre la base del anclaje y la tubería de presión [m].

g) *Cálculo del volumen de concreto del anclaje “Vc”.*

$$V_c = V_{tot} - V_t \quad (234)$$

Dónde:

✓  $V_{ot}$  = Volumen total del anclaje [m<sup>3</sup>].

✓  $V_t$  = Volumen de la tubería dentro del anclaje [m<sup>3</sup>].

Entonces deberemos calcular cada uno de los parámetros antes mencionados, para lo cual podremos utilizar las siguientes ecuaciones:

$$V_{tot} = B * \left( \frac{C}{4} * 3 * (J + 1,5 * Dn * \cos \theta_1) + H \right) \quad (235)$$

$$V_t = \frac{\pi}{8} * C * (Dn + 2e) * \left( \frac{1}{\cos \theta_1} + \frac{1}{\cos \theta_2} \right) \quad (236)$$

Dónde:

✓  $Dn$  = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].

✓  $A$  = Altura del bloque A [m].

✓  $C$  = Ancho de bloque [m].

✓  $J$  = Distancia superior entre la base del anclaje y la tubería de presión [m].

✓  $\theta_1$  = Angulo de inclinación de la tubería de presión aguas arriba.

✓  $\theta_2$  = Angulo de inclinación de la tubería de presión aguas abajo.

El dimensionamiento de los anclajes se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 54.** Principales dimensiones de los anclajes.

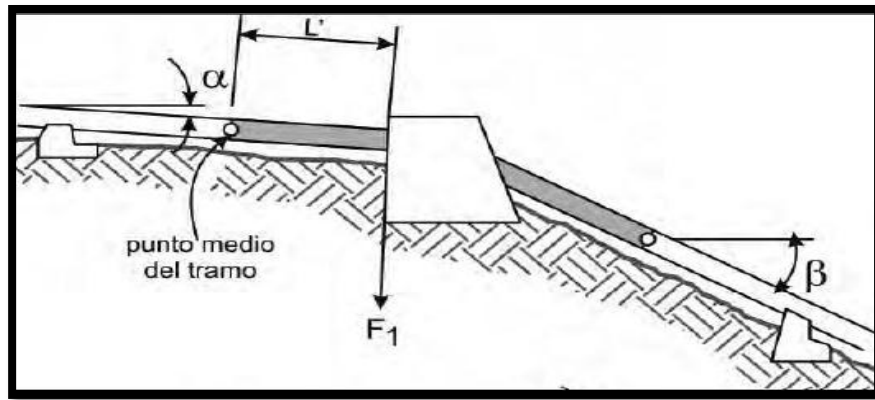
<b>ANCLAJE</b>	<b>A</b> [m]	<b>B</b> [m]	<b>C</b> [m]	<b>F</b> [m]	<b>J</b> [m]	<b>H</b> [m]	<b>Vot</b> [m]	<b>Vt</b> [m]	<b>Vc</b> [m]
<b>1</b>	2,84	3,56	4,27	1,46	2,84	4,00	70,84	5,35	65,48
<b>2</b>	2,84	3,56	4,27	2,39	4,23	4,80	85,52	5,41	80,11
<b>3</b>	2,84	3,56	4,27	1,18	3,30	3,50	69,06	5,60	63,46
<b>4</b>	2,84	3,56	4,27	1,89	4,51	4,20	88,41	5,77	82,64
<b>5</b>	2,84	3,56	4,27	2,27	3,79	4,60	82,95	5,20	77,74
<b>6</b>	2,84	3,56	4,27	1,56	3,42	4,00	73,87	5,38	68,50
<b>7</b>	2,84	3,56	4,27	2,07	4,13	4,40	85,36	5,45	79,91
<b>8</b>	4,27	3,56	4,27	1,10	5,04	3,60	83,73	6,97	76,76
<b>9</b>	2,84	3,56	4,27	2,66	6,01	5,00	110,25	6,82	103,43
<b>10</b>	2,84	3,56	4,27	1,98	3,03	4,40	72,62	5,09	67,53
<b>11</b>	2,84	3,56	4,27	2,23	3,71	4,60	81,83	5,18	76,66
<b>12</b>	2,84	3,56	4,27	1,56	3,46	3,80	73,62	5,39	68,23
<b>13</b>	2,84	3,56	4,27	0,30	4,13	3,00	73,19	6,65	66,54
<b>14</b>	2,84	3,56	4,27	2,69	5,39	5,00	103,26	6,25	97,01
<b>15</b>	2,84	3,56	4,27	1,35	2,99	3,60	66,72	5,43	61,29
<b>16</b>	2,84	3,56	4,27	2,84	4,34	5,10	91,74	5,42	86,32

**Fuente:** Autores

**5.9.5.2** *Cálculo de las fuerzas actuantes sobre los anclajes [3].* Ya que los anclajes actuaran en el cambio de pendiente de la tubería de presión, sobre ellos se generan diferentes fuerzas, que si no se las realiza un estudio correcto, podría provocar fallas graves en el normal funcionamiento de nuestro sistema de presión, para lo cual procedemos a identificar y calcular cada una de estos esfuerzos.

a) *Cálculo de la fuerza componente del peso de la tubería y el agua perpendicular a ella*  
[3]

**Figura 80.** Esquema de la fuerza  $F_1$ .



**Fuente:** ITDG. Manual de mini y microcentrales hidráulicas

$$F_1 = (W_t + W_a) * L' * \cos \alpha \quad (237)$$

Dónde:

- ✓  $L_1$  = Longitud media entre el anclaje y el próximo apoyo [m].
- ✓  $W_a$  = Peso del agua por longitud de tubería [Kgf/m].
- ✓  $W_t$  = Peso de la tubería por longitud de tubería [Kgf/m].
- ✓  $\alpha$  = Ángulo de inclinación de la tubería de presión aguas arriba o aguas abajo.

Para calcular los pesos del agua y la tubería por longitud de tubería utilizaremos las siguientes ecuaciones:

$$W_a = \gamma_a * \frac{\pi * D_i^2}{4}$$

$$W_t = \gamma_t * \pi * e * (D_i + e)$$

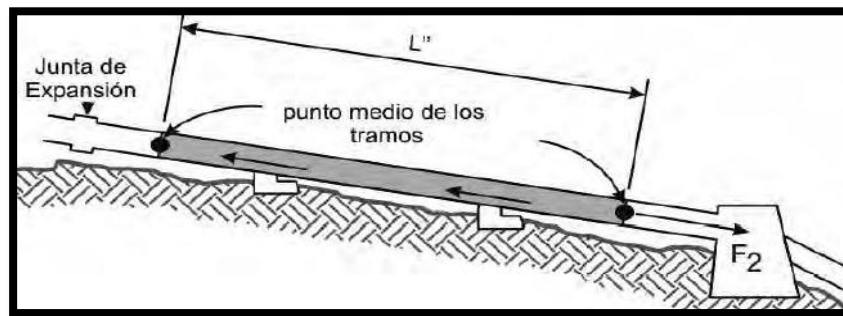
Dónde:

- ✓  $\gamma_a$  = Peso específico del agua [9791,03 Kgf/m<sup>3</sup>].

- ✓  $\gamma_t$  = Peso de la tubería [76930 Kgf/m<sup>3</sup>].
- ✓  $D_i$  = Diámetro interno de la tubería de presión [17,5mm].
- ✓  $e$  = Espesor de la tubería [17,5mm].

b) *Cálculo de la fuerza de fricción entre la tubería y el apoyo [3].*

**Figura 81.** Esquema de la fuerza  $F_2$  .



**Fuente:** ITDG. Manual de mini y microcentrales hidráulicas

Es la fuerza que se presenta cuando existe en el tramo la presencia de uno o más apoyos entre un anclaje y la junta de dilatación.

$$F_2 = \mu_k * (W_t + W_a) * L_2 * \cos \alpha \quad (238)$$

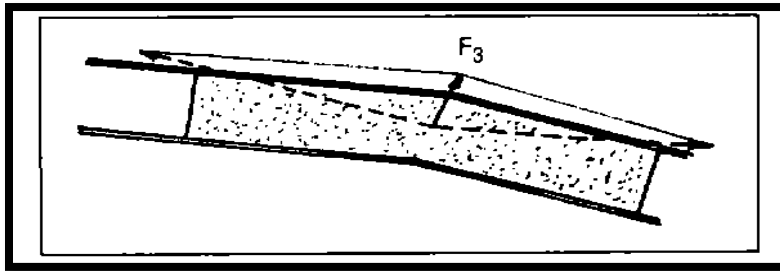
Dónde:

- ✓  $\mu_k$  = Coeficiente de rozamiento entre el hormigón y acero (Ver Tabla 47)
- ✓  $L_2$  = Longitud del tramo de la tubería de presión [m].

c) *Cálculo de la fuerza de los cambios de dirección debido a la presión hidrostática [3].*



**Figura 82.** Esquema de la fuerza  $F_3$ .



**Fuente:** ITDG. Manual de mini y microcentrales hidráulicas

Es la fuerza que se presenta cuando existe en el tramo la presencia de uno o más apoyos entre un anclaje y la junta de dilatación.

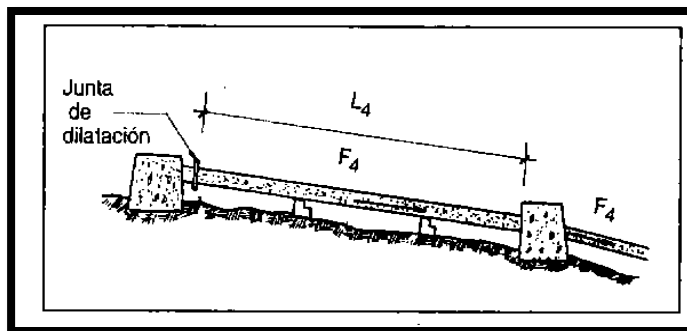
$$F_3 = \gamma_a * H_{pe} * \pi * \frac{Dn^2}{4} \quad (239)$$

Dónde:

- ✓  $H_{pe}$ = Altura vertical desde el tanque de presión al centro del anclaje [m]
- ✓  $\gamma_a$ = Peso específico del agua [9791,03 Kg/m<sup>3</sup>].

d) *Cálculo de la componente del peso de la tubería paralela a ella [3].*

**Figura 83.** Esquema de la fuerza  $F_4$ .



**Fuente:** ITDG. Manual de mini y microcentrales hidráulicas

Esta fuerza se origina cuando el tramo de la tubería que se encuentra aguas arriba, tendera a empujar al anclaje y mientras que el tramo de tubería tratara de jalarlo en dirección a la pendiente.

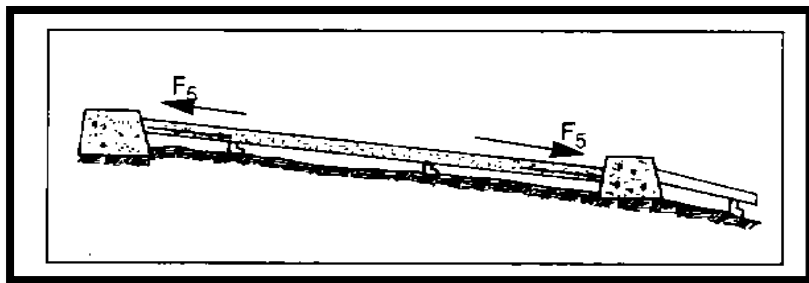
$$F_4 = W_t * L_4 * \text{sen}\alpha \quad (240)$$

Dónde:

- ✓  $W_t$ = Peso de la tubería por longitud de tubería [Kgf/m].
- ✓  $\alpha$  = Ángulo de inclinación de la tubería de presión aguas arriba o aguas abajo
- ✓  $L_4$ = Longitud del tramo de tubería de presión [m].

e) *Cálculo de la fuerza debida a cambios de temperatura en la tubería [3].*

**Figura 84.** Esquema de la fuerza  $F_5$ .



**Fuente:** ITDG. Manual de mini y microcentrales hidráulicas

Esta fuerza se origina cuando los tramos de la tubería de presión no poseen juntas de dilatación, y esta se encuentra al aire libre.

$$F_5 = 31 * D_n * e * E * (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \quad (241)$$

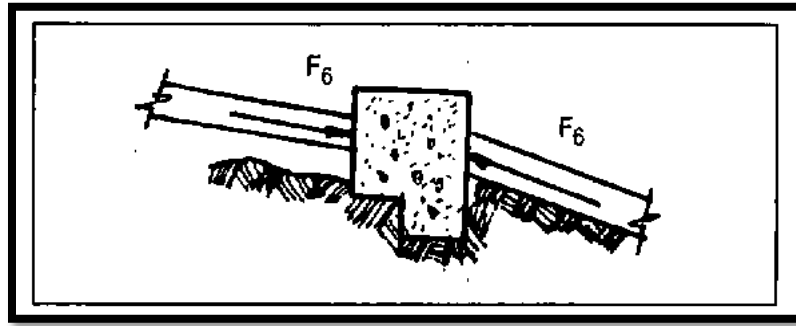
Dónde:

- ✓  $D_n$ = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].
- ✓  $e$ = Espesor de la tubería [17,5mm].
- ✓  $E$  = Módulo de elasticidad del material (para acero al carbono 207 GPa) [Anexo U]

- ✓  $T_{max}$  = Temperatura máxima de la zona [°C]
- ✓  $T_{min}$  = Temperatura mínima de la zona [°C].

f) *Cálculo de la fuerza de fricción en la junta de dilatación [1].*

**Figura 85.** Esquema de la fuerza  $F_6$ .



**Fuente:** ITDG. Manual de mini y microcentrales hidráulicas

Es la fuerza que se origina entre la empaquetadura entre las partes de la junta de dilatación, cuando se expande o contrae la tubería.

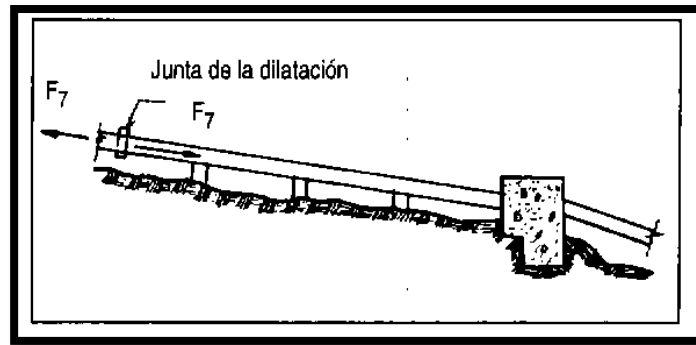
$$F_6 = 10 * D_n * C \quad (242)$$

Dónde:

- ✓  $D_n$  = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].

g) *Cálculo de la fuerza debida a la presión hidrostática dentro de las juntas de expansión [1].*

**Figura 86.** Esquema de la fuerza  $F_7$ .



**Fuente:** ITDG. Manual de mini y microcentrales hidráulicas

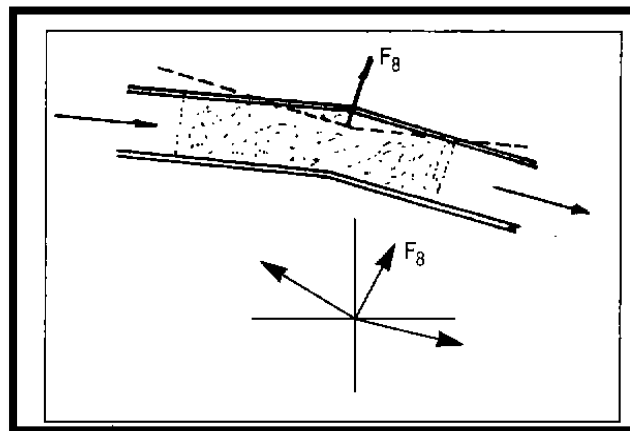
$$F_7 = 3,1 * H_{pe} * Dn * e \quad (243)$$

Dónde:

- ✓  $H_{pe}$ = Altura vertical desde el tanque de presión al centro del anclaje [m].
- ✓  $Dn$ = Diámetro nominal de la tubería de presión [m].
- ✓  $e$ = Espesor de la tubería [17,5mm]

*h) Cálculo de la fuerza debida al cambio de dirección de la cantidad de movimiento [1].*

**Figura 87.** Esquema de la fuerza  $F_8$ .



**Fuente:** ITDG. Manual de mini y microcentrales hidráulicas

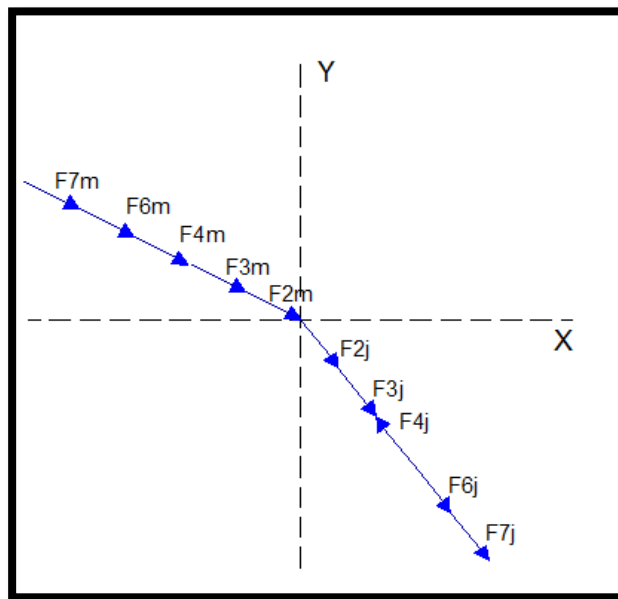
Por la velocidad con que el agua pase por los codos o cambios de pendiente, se origina una fuerza resultante sobre el mismo, la cual tiene la misma dirección y sentido que la  $F_3$ .

Generalmente la magnitud de esta fuerza es minina, por lo que no se tomara en cuenta, pero si se quisiere hallar, se encuentra por medio de la ecuación:

$$F_8 = 250 * \left( \frac{Q}{Dn} \right)^2 * \sin \left( \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \right) \quad (244)$$

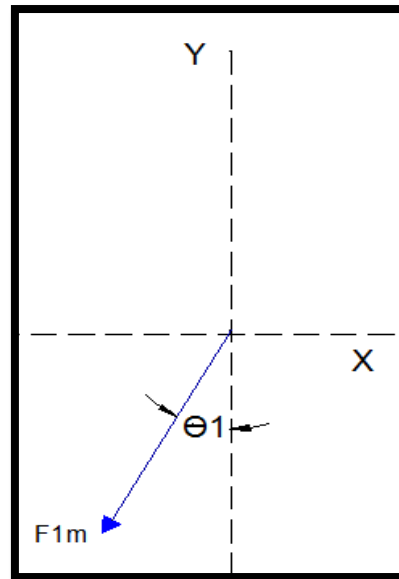
Todas las fuerzas antes descritas, que actúan sobre nuestros anclajes, las resumimos en la siguiente tabla y en el esquema en donde mostramos la forma que afectan a nuestro anclaje:

**Figura 88.** Esquema de las fuerzas actuantes sobre el anclaje.



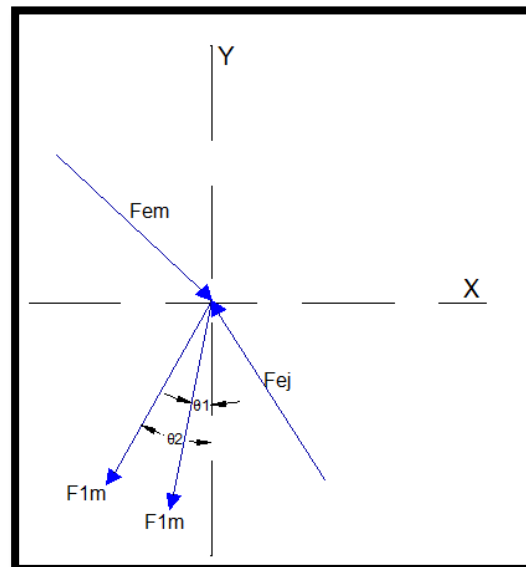
**Fuente:** Autores

**Figura 89.** Esquema de la fuerza actuante sobre el a F1m.



**Fuente:** Autores

**Figura 90.** Esquema de la fuerzas resultantes sobre el anclaje.



**Fuente:** Autores

**Tabla 55.** Resumen de fuerzas actuantes en los anclajes.

Ancla je	Wa [Kg/m]	Wt [Kg/m]	F1m [Kgf]	F1j [Kgf]	F2m [Kgf]	F2j [Kgf]	F3m [Kgf]	F3j [Kgf]	F4m [Kgf]	F4j [Kgf]	F6m [Kgf]	F6j [Kgf]	F7m [Kgf]	F7j [Kgf]
1	14857,57	5952,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14220,0	14220,00	0,00	0,00
2	14857,57	5952,95	69812,68	81423,04	1876460,2 1	2188529,23	1554953,68	1554953,68	606908,84	231682,70	14220,0	14220,00	7,93	7,93
3	14857,57	5952,95	50889,40	40997,28	65341,99	52640,51	1590717,61	1590717,61	12810,06	37932,75	14220,0	14220,00	8,12	8,12
4	14857,57	5952,95	24598,37	28517,03	27746,96	32167,21	1645140,99	1645140,99	21330,30	14091,86	14220,0	14220,00	8,39	8,39
5	14857,57	5952,95	57034,07	60304,26	77566,33	82013,79	1725998,58	1725998,58	30992,41	19721,42	14220,0	14220,00	8,81	8,81
6	14857,57	5952,95	80405,68	71352,39	103482,10	91830,53	1795971,50	1795971,50	25545,41	50834,19	14220,0	14220,00	9,16	9,16
7	14857,57	5952,95	26757,15	29333,24	43346,58	47519,85	1850394,87	1850394,87	21615,26	14354,00	14220,0	14220,00	9,44	9,44
8	14857,57	5952,95	29333,24	17455,64	38015,88	22622,51	1881493,95	1881493,95	12704,81	30795,76	14220,0	14220,00	9,60	9,60
9	14857,57	5952,95	17455,64	31096,99	20946,77	37316,39	1959241,63	1959241,63	29611,30	3113,00	14220,0	14220,00	10,00	10,00
10	14857,57	5952,95	51828,32	48237,95	67667,06	62979,46	1974791,17	1974791,17	5416,62	23281,34	14220,0	14220,00	10,08	10,08
11	14857,57	5952,95	77180,71	80017,42	107551,32	111504,28	2072753,25	2072753,25	38556,93	28370,38	14220,0	14220,00	10,58	10,58
12	14857,57	5952,95	80017,42	71352,39	280501,08	250125,80	2142726,17	2142726,17	51473,61	96180,25	14220,0	14220,00	10,93	10,93
13	14857,57	5952,95	71352,39	53506,98	131966,24	98961,16	2228248,62	2228248,62	62331,67	92709,32	14220,0	14220,00	11,37	11,37
14	14857,57	5952,95	20065,12	31139,74	33308,09	51691,97	2399293,52	2399293,52	32605,59	2969,08	14220,0	14220,00	12,24	12,24
15	14857,57	5952,95	41519,65	34093,96	63026,83	51754,63	2481706,07	2481706,07	3762,23	30935,10	14220,0	14220,00	12,66	12,66
16	14857,57	5952,95	34093,96	41621,04	41833,29	51069,02	2553233,94	2553233,94	27623,07	0,00	14220,0	14220,00	13,03	13,03

**Fuente:** Autores

Luego se procede a calcular las resultantes de las fuerzas resultantes, es decir tendremos:

$$F_{em} = F_2m + F_3m + F_4m + F_6m + F_7m \quad (245)$$

$$F_{ej} = -F_2j - F_3j + F_4j - F_6j - F_7j \quad (246)$$

Tendremos unas fuerzas resultantes actuantes, que permite variar la pendiente vertical las mismas que son:

$$F_{xv} = -F_1m \sin \theta_1 + F_{em} \cos \theta_1 - F_1j \cos \theta_1 - F_{ej} \cos \theta_2 \quad (247)$$

$$F_{yv} = -F_1m \cos \theta_1 + F_{em} \sin \theta_1 - F_1j \cos \theta_2 - F_{ej} \sin \theta_2 \quad (248)$$

Y la suma de las fuerzas verticales estará dado por:

$$\sum F_v = G_c + W_t + W_a + F_{em} \sin \theta_1 + F_{ej} \sin \theta_2$$

Para hallar el peso del anclaje por la presencia del concreto, recurriremos a la siguiente ecuación:

$$G_c = \gamma_s * V_c \quad (249)$$

Dónde:

- ✓  $\gamma_c$  = Peso específico del concreto [2400 Kgf/m<sup>3</sup>].
- ✓  $V_c$  = Volumen de concreto del anclaje [m<sup>3</sup>]

Todas estas fuerzas resultantes las resumiremos en la siguiente tabla:



**Tabla 56.** Resumen de fuerzas resultantes en los anclajes.

Anclaje	Fem [Kgf]	Fej [Kgf]	Fxv [Kgf]	Fyv [Kgf]	ΣFv [Kgf]
1	14220,00	-14220,00	26145,90	7744,77	170228,83
2	4052550,66	-3526028,14	6741421,11	-1612268,41	1687143,59
3	1683097,78	-1619653,49	2871940,53	565138,90	-474107,42
4	1708446,65	-1677444,74	2841080,35	-414981,93	588693,21
5	1848786,13	-1802519,75	3351762,03	-395795,28	492838,79
6	1939228,17	-1851196,99	3370204,47	312700,90	-266328,80
7	1929586,16	-1897790,17	3398393,13	-395227,45	557319,59
8	1946444,24	-1887550,31	2858128,53	861801,69	-694084,25
9	2024029,70	-2007675,02	3099997,66	-1543756,00	1772063,19
10	2062104,93	-2028719,37	3882682,32	483890,82	-397366,89
11	2233092,08	-2170117,73	4053434,71	-386843,90	443155,16
12	2488931,79	-2310902,65	4282700,87	366081,65	-319602,73
13	2436777,90	-2248731,82	3451569,66	372040,56	-287080,52
14	2479439,45	-2462248,65	4014616,68	-1771564,52	1981231,92
15	2562727,79	-2516758,26	4581185,61	1195439,73	-1096885,15
16	2636923,32	-2618535,98	4724927,66	-1582026,26	1740450,38

**Fuente:** Autores

**5.9.5.3 Verificación de estabilidad de los anclajes [9].** Para poder decir el dimensionamiento de nuestros anclajes es el correcto y que cumplirán con todas las normas de seguridad, en el normal funcionamiento, tendremos que verificar que se cumplan algunas condiciones propuestas como:

*a) Verificación al volteo.*

$$exc \leq \frac{C}{6} \quad (250)$$

Donde exc lo hallaremos mediante la ecuación:

$$exc = \frac{(F_{em} \cdot \cos \theta_1 + F_{ej} \cdot \cos \theta_2) \cdot A}{F_{yv} + G_c} - \frac{\left( G_c + \frac{F_{lm}}{\cos \theta_1} + \frac{F_{lj}}{\cos \theta_2} \right) \cdot C/2}{F_{yv} + G_c} \quad (251)$$

Dónde:

✓ Gc=Peso del concreto del anclaje [Kgf].

Entonces procediendo a analizar la primera condición tendremos que para cada uno de los anclajes es:

**Tabla 57.** Verificación de la condición 1 en cada anclaje.

Anclaje	exc	c/3	Conclusión
1	0,35	1,90	CUMPLE
2	1,11	1,90	CUMPLE
3	1,24	1,90	CUMPLE
4	0,18	1,90	CUMPLE
5	1,67	1,90	CUMPLE
6	1,86	1,90	CUMPLE
7	0,48	1,90	CUMPLE
8	1,48	1,90	CUMPLE
9	1,78	1,90	CUMPLE
10	1,75	1,90	CUMPLE
11	0,94	1,90	CUMPLE
12	1,92	1,90	CUMPLE
13	0,19	1,90	CUMPLE
14	1,07	1,90	CUMPLE
15	1,08	1,90	CUMPLE
16	0,55	1,90	CUMPLE
17	1,02	1,90	CUMPLE

*b) Verificación de las condiciones 2 y 3*

$$\frac{M_{xc}}{F_{yv}} \geq 1,5 \quad (252)$$

$$\frac{M_{xb}}{F_{yv}} \geq 1,5 \quad (253)$$

Donde los momentos  $M_{xc}$  y  $M_{xb}$  se los hallaran mediante las ecuaciones:

$$M_{xb} = \left( F_{yv} * \frac{L_s}{2} \right) - \left( F_{yv} * \frac{B}{2} \right) \quad (254)$$

$$M_{xc} = \left( F_{yv} * \frac{L_s}{2} \right) - \left( F_{xv} * \frac{C}{2} \right) \quad (255)$$

Por lo que calculando para cada anclaje, tendremos los siguientes resultados:

**Tabla 58.** Verificación de las condiciones 2 y 3 en cada anclaje.

ANCLAJE	$M_{xb}$ [Kg*f*m]	$M_{xc}$ [Kg*f*m]	Condición 3	Conclusión	Condición 4	Conclusión
1	-22026,12	-22026,1176	2,84	CUMPLE	2,84	CUMPLE
2	-1863782,28	-1863782,28	1,56	CUMPLE	1,6	CUMPLE
3	-194407,78	-194407,782	1,54	CUMPLE	1,5	CUMPLE
4	557735,71	557735,715	1,54	CUMPLE	1,6	CUMPLE
5	-61744,06	-61744,0631	1,6	CUMPLE	1,6	CUMPLE
6	361482,24	361482,239	1,6	CUMPLE	1,56	CUMPLE
7	531185,70	531185,697	1,5	CUMPLE	1,54	CUMPLE
8	-1158261,47	-1158261,47	1,55	CUMPLE	1,57	CUMPLE
9	2074808,06	2074808,06	1,6	CUMPLE	1,58	CUMPLE
10	-166458,44	-166458,441	1,7	CUMPLE	1,6	CUMPLE
11	-447191,55	-447191,55	1,6	CUMPLE	1,6	CUMPLE
12	423190,39	423190,392	1,6	CUMPLE	1,65	CUMPLE
13	430078,89	430078,885	1,6	CUMPLE	1,68	CUMPLE
14	2380982,72	2380982,72	1,7	CUMPLE	1,7	CUMPLE
15	-1008951,13	-1008951,13	1,84	CUMPLE	1,84	CUMPLE
16	1335230,16	1335230,16	1,84	CUMPLE	1,84	CUMPLE

*c) Verificación de las condiciones 4 y 5.*

En esta condición analizaremos que nuestro anclaje no se entierre sobre el terreno, debido a los esfuerzos que este transmitirá al mismo.

Entonces tendremos que asegurar que:

$$\psi_c \leq \psi_{ad} \quad (256)$$

$$\psi_t \geq 0 \quad (257)$$

Dónde:

- ✓  $\Psi_c$ = Tensión a la compresión ejercida por el anclaje [Kgf/m<sup>2</sup>].
- ✓  $\Psi_t$ = Tensión a la tracción ejercida por el anclaje [Kgf/m<sup>2</sup>].
- ✓  $\Psi_{ad}$ = Esfuerzo admisible según el tipo de suelo [Kgf/m<sup>2</sup>]. (ver tabla 58)

$$\psi_c = \frac{\sum F_v}{B * C} * \left( 1 + \frac{6 * e_x}{C} \right) \quad (258)$$

$$\psi_t = \frac{\sum F_v}{B * C} * \left( 1 - \frac{6 * e_x}{C} \right) \quad (259)$$

Dónde:

- ✓  $\Psi_c$ = Tensión a la compresión ejercida por el apoyo [Kgf/m<sup>2</sup>].
- ✓  $\Psi_t$ = Tensión a la tracción ejercida por el apoyo [Kgf/m<sup>2</sup>].
- ✓  $\Sigma F_v$ = Sumatoria de fuerza verticales [Kgf].
- ✓ B= Ancho del apoyo [m].
- ✓ C = Longitud del apoyo [m].
- ✓  $e_x$ = Distancia a la cual deben pasar la suma de esfuerzos verticales [m].

Resumiendo los resultados obtenidos en la siguiente tabla tendremos:

**Tabla 59.** Verificación de las condiciones 4 y 5 en cada anclaje.

ANCLAJE	$\Psi_c$ [Kgf/m <sup>2</sup> ]	$\Psi_{ad}$ [Kgf/m <sup>2</sup> ]	$\Psi_t$ [Kgf/m <sup>2</sup> ]	Conclusión 4	Conclusión 5
1	22554,41	2,80E+05	3459,71	CUMPLE	CUMPLE
2	141050,03	2,80E+05	25084,92	CUMPLE	CUMPLE
3	707,88	2,80E+05	27950,33	CUMPLE	CUMPLE
4	36102,76	2,80E+05	4056,41	CUMPLE	CUMPLE
5	75201,40	2,80E+05	56606,08	CUMPLE	CUMPLE
6	15794,88	2,80E+05	58065,58	CUMPLE	CUMPLE
7	43957,60	2,80E+05	1872,40	CUMPLE	CUMPLE
8	16202,90	2,80E+05	41827,92	CUMPLE	CUMPLE
9	185039,33	2,80E+05	45126,64	CUMPLE	CUMPLE
10	2499,76	2,80E+05	153689,47	CUMPLE	CUMPLE
11	51443,05	2,80E+05	4223,39	CUMPLE	CUMPLE
12	10851,53	2,80E+05	58882,57	CUMPLE	CUMPLE
13	7502,03	2,80E+05	5921,30	CUMPLE	CUMPLE
14	151449,22	2,80E+05	4714,05	CUMPLE	CUMPLE
15	41840,30	2,80E+05	60272,45	CUMPLE	CUMPLE
16	101583,63	2,80E+05	11380,43	CUMPLE	CUMPLE
17	22554,41	2,80E+05	43932,37	CUMPLE	CUMPLE

**Fuente:** Autores

Una vez que se comprobó que todas las condiciones de seguridad se cumplan, podremos decir que el dimensionamiento de nuestro anclaje es el correcto.

## CAPÍTULO VI

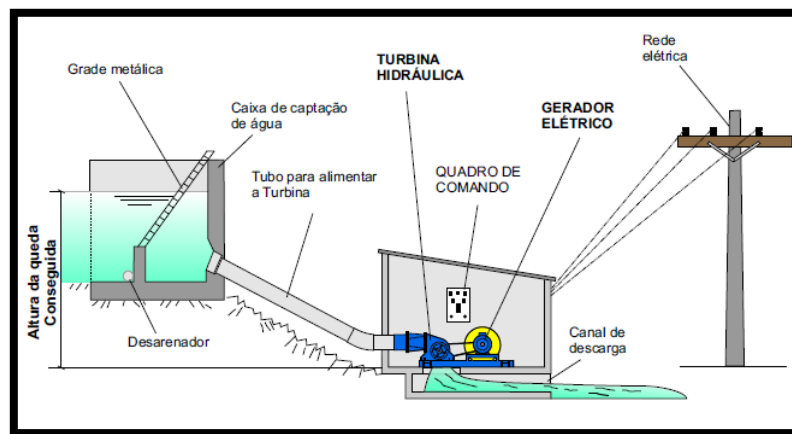
### 6. SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO

#### 6.1 Parámetros fundamentales de diseño [3]

Es la parte más relevante de una central de generación es su grupo electromecánico pues es en él donde se aprovecha las bondades de la naturaleza y se convierten en energía eléctrica.

En este proyecto no se pretende diseñar el grupo electromecánico; en su lugar, utilizando criterios y datos ya analizados previamente en este estudio, seleccionar equipos estandarizados de una gama de fabricantes en el mercado.

**Figura 91.** Esquema del conjunto electromecánico de la central



**Fuente:** <http://www.renovables-energia.com/2009/06/esquema-de-una-central-hidroelectrica/>

El diseño de una turbina está relacionado directamente con los siguientes parámetros:

- Caudal de diseño de la central  $Q_T = 9,75 \text{ m}^3/\text{s}$
- Altura Neta de la central  $H = 160 \text{ m}$

- Numero de revoluciones del eje de la turbina N.

## 6.2 Altura o salto neto.

La altura neta que es el resultado de restar las pérdidas de carga totales a lo largo del sistema de al altura bruta.

$$H_N = H_B - H_{RT} \quad (260)$$

Dónde:

- $H_B$  = Altura bruta [m].
- $H_{RT}$  = Pérdidas totales en la tubería de presión [m].

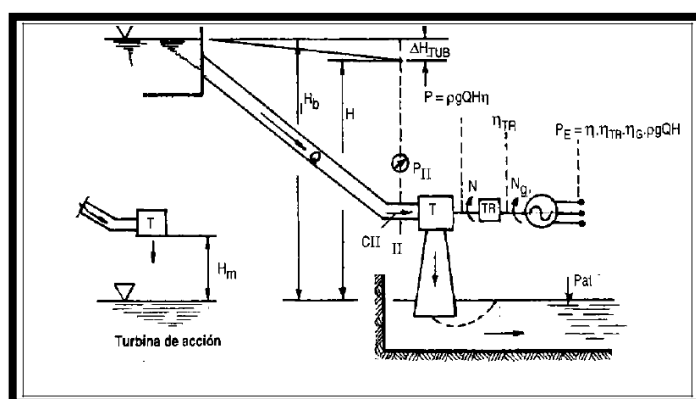
$$H_N = 164 - 4,74 \text{ [m]}$$

$$H_N = 159,26 \text{ m}$$

## 6.3 Potencia al eje de la turbina hidráulica [3]

De acuerdo al esquema de una pequeña central hidroeléctrica la potencia generada tiene las siguientes ecuaciones:

**Figura 92.** Esquema del grupo de generación.



**Fuente:** ITDG Manual de mini y microcentrales hidráulicas.

$$P_E = P_T * \eta_{TR} * \eta_G \quad (261)$$

$$P_T = \frac{\rho * g * Q * H_n * \eta}{k} \quad (262)$$

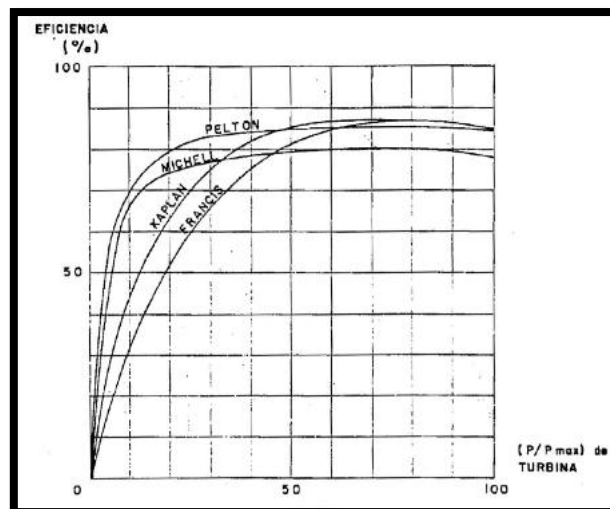
$$P_T = \frac{1000 * Q * H_n * \eta}{102} \quad (263)$$

$$\eta_{GR} = \eta * \eta_{TR} * \eta_G \quad (264)$$

Dónde:

- $P_E$  = Potencia eléctrica en los bornes del generador [KW].
- $P_T$  = Potencia al freno de la turbina a plena carga [KW].
- $Q$  = caudal [ $m^3/s$ ].
- $H_n$  = “salto neto” [m]
- $\rho$  = densidad del agua [ $kg/m^3$ ].
- $\eta$  = eficiencia de la turbina, adimensional.
- $\eta_{TR}$  = eficiencia de la transmisión, adimensional.
- $\eta_G$  = eficiencia del generador, adimensional.
- $\eta_{GR}$  = eficiencia del grupo de generación, adimensional
- $K$  = constante igual a 1000W/KW
- $g$  = constante gravitacional [ $m/s^2$ ].

**Figura 93.** Eficiencias de las turbinas para distintos porcentajes de carga



**Fuente:** AZEVEDO, Netto. Manual de hidráulica.



#### 6.4 Potencia del sistema de transmisión turbina-generador

En una central hidroeléctrica se produce una continua conversión de energía hidráulica en energía mecánica y de energía mecánica en energía eléctrica en los generadores por ello que la potencia transmitida al generador se la obtiene con la siguiente ecuación:

$$P_{TR} = P_T * \eta_{TR} \quad (265)$$

Dónde:

- $P_{TR}$  = Potencia transmitida al generador
- $P_T$  = Potencia al freno de la turbina

El tipo de transmisión para este tipo de proyectos son de tipo engranaje o bandas.

**Tabla 60.** Eficiencias de los tipos de transmisión para una central hidroeléctrica

TIPO	$\eta_{TR}$
Engranajes	0,98
Bandas o fajas en “V”	0,95

**Fuente:** SHIGLEY, J. Diseño en Ingeniería Mecánica

#### 6.5 Velocidades específicas

a) Velocidad específica en función de la potencia de la turbina :

$$N_s = \frac{N\sqrt{P_t}}{(H_N)^{5/4}} \quad (266)$$

Dónde:

- $N$ = velocidad de rotación de la turbina (rpm)
- $P_t$ = Potencia al eje de la turbina (CV)
- $H_N$ =Altura neta (m)

**b) Velocidad específica en función de la potencia del caudal:**

$$N_q = \frac{N\sqrt{Q_d}}{(H_N)^{3/4}} \quad (267)$$

Dónde:

- $N$ = Velocidad de rotación de la turbina (rpm)
- $Q_d$ = Caudal de diseño( $m^3/s$ )

## **6.6 Rango de aplicación de las turbinas hidráulicas**

Existen tablas donde se indican las características fundamentales de las turbinas, en la tabla se muestran los rangos de las turbinas en función de la velocidad específica  $N_s$ , el caudal, la altura bruta, y el rendimiento.

**Tabla 61.** Rango de Aplicaciones de las diferentes Turbinas

Turbina		Inventor y año de patente	Ns (rpm, Hp, m) RPM	Caudal Q [m3/s]	Altura Neta H (m)	Potencia P (KW)	Rendimiento $\eta$ [%]
A c c i ó n	Pelton	Lester Pelton (EEUU) 1880	1Ch: 20 - 30 2Ch: 30 - 50 3Ch: 30 - 50 4Ch: 50 - 70	0,05 - 50	30 - 1800	2 - 300000	91
	Turgo	Erick Crewdson (G. Bretaña) 1920	60 - 260	0,025 - 10	15 - 300	5 -- 8000	85
	Michel - Banki	A. G. Michel (Australia) 1820 D. Banki (Hungria) 1919	40 - 160	0,025 - 5	1 - 50 (200)	1 - 750	82
R e a c i ó n	Bomba Rotodinámica	Dionisio Papin (Francia) 1689	30 - 70	0,05 - 0,25	10 - 250	5 - 500	80
	Francis	James Francis (G. Bretaña) 1848	L: 60 - 150 N: 150 - 250 R: 250 - 400	1 - 500	2 - 750	2 - 750000	92
	Deriaz	P. Deriaz (Suiza) 1956	60 - 400	500	30 - 130	100000	92
	Kaplan y de Hélice	V. Kaplan (Austria) 1912	300 - 800	1000	5 - 80	2 - 200000	93
	Axiales: -Tubular -Bulbo -Generador Periférico	-Khune 1930 -Hugenin 1933 -Harza 1919	300 - 800	600	5 - 30	100000	93

**Fuente:** ITDG .Manual de mini y microcentrales hidroeléctricas .

Otro rango de las turbinas lo definen los números específicos de revoluciones  $N_q$  y  $N_s$ .

**Tabla 62.** Velocidades específicas

TIPO DE TURBINA	$N_q$	$N_s$
Turbina Pelton de 1 Tobera	hasta 9	hasta 28
Turbina Pelton de 2 Toberas	4 a 13	14 a 42
Turbina Pelton de 3 Tobera o más	5 a 22	17 a 73
Turbina Michell – Banky	18 a 60	60 a 200
Turbina Francis Lenta	18 a 68	69 a 125
Turbina Francis Normal	38 a 68	125 a 225
Turbina Francis Rápida	68 a 135	225 a 450
Turbina Axial	105 a 300	350 a 1000

**Fuente:** ITDG .Manual de mini y microcentrales hidroeléctricas .

**Tabla 63.** Tipo de turbina más adecuado en función del número de revoluciones específico

Velocidad específica $n_s$	Tipo de turbina	Altura del salto (metros)
Hasta 18	Pelton con una tobera	800
De 18 a 25	Pelton con una tobera	de 800 a 400
De 26 a 35	Pelton con una tobera	de 400 a 100
De 26 a 35	Pelton con dos toberas	de 800 a 400
De 36 a 50	Pelton con dos toberas	de 400 a 100
De 51 a 72	Pelton con cuatro toberas	de 400 a 100
De 55 a 70	Francis lentísima	de 400 a 200
De 70 a 120	Francis lenta	de 200 a 100
De 120 a 200	Francis media	de 100 a 50
De 200 a 300	Francis veloz	de 50 a 25
De 300 a 450	Francis ultravelocísima	de 25 a 15
De 400 a 500	Hélice velocísima	Hasta 15
De 270 a 500	Kaplan lenta	de 50 a 15
De 500 a 800	Kaplan veloz	de 15 a 5
De 800 a 1100	Kaplan velocísima	5

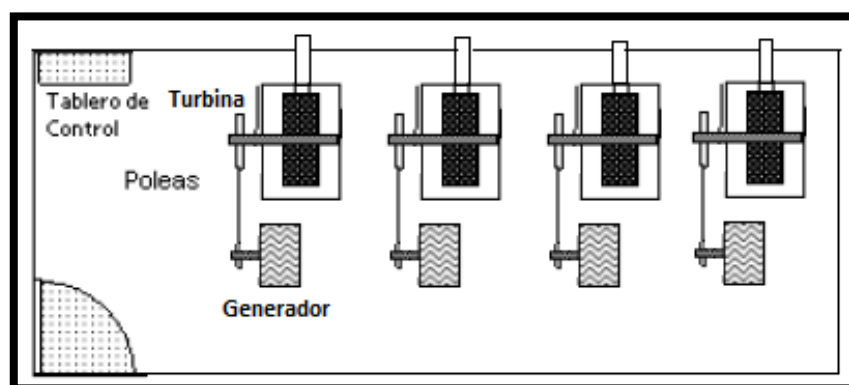
**Fuente:** ITDG .Manual de mini y microcentrales hidroeléctricas .

## 6.7 Alternativas de diseño.

**6.7.1 Primera alternativa.** Para resolver el problema de la transformación de energía potencial en cinética y luego en eléctrica ,se propone la siguiente alternativa de diseño.

Como el diseño desde el tanque de presión es el de colocar dos tuberías de presión para esta alternativa cada una de ellas debe disponer de dos tuberías secundarias conectada cada una a la turbina y ésta a un generador como se ilustra en la siguiente figura:

**Figura 94.** Esquema de la instalación en casa de máquinas de la primera alternativa.



**Fuente:** Autores

**6.7.1.1 Potencia en el eje de la turbina [3].** Para calcular la potencia en el eje de la turbina, se tomó una eficiencia de la turbina del 90% según recomienda la referencia [13], el caudal de diseño es de 9,75 m<sup>3</sup>/s y ya que son dos tramos de tuberías de presión y para cada una de ellas se dividirá en dos tramos de tuberías secundarias como muestra la figura 94, entonces el caudal de generación para esta alternativa es de 2,44 m<sup>3</sup>/s en cada grupo generador, entonces si remplazamos los datos en la ecuación 261 se obtiene:

$$P = \frac{1000 \cdot 2,44 \cdot 159,26 \cdot 0,90}{102} \quad [\text{KW}]$$

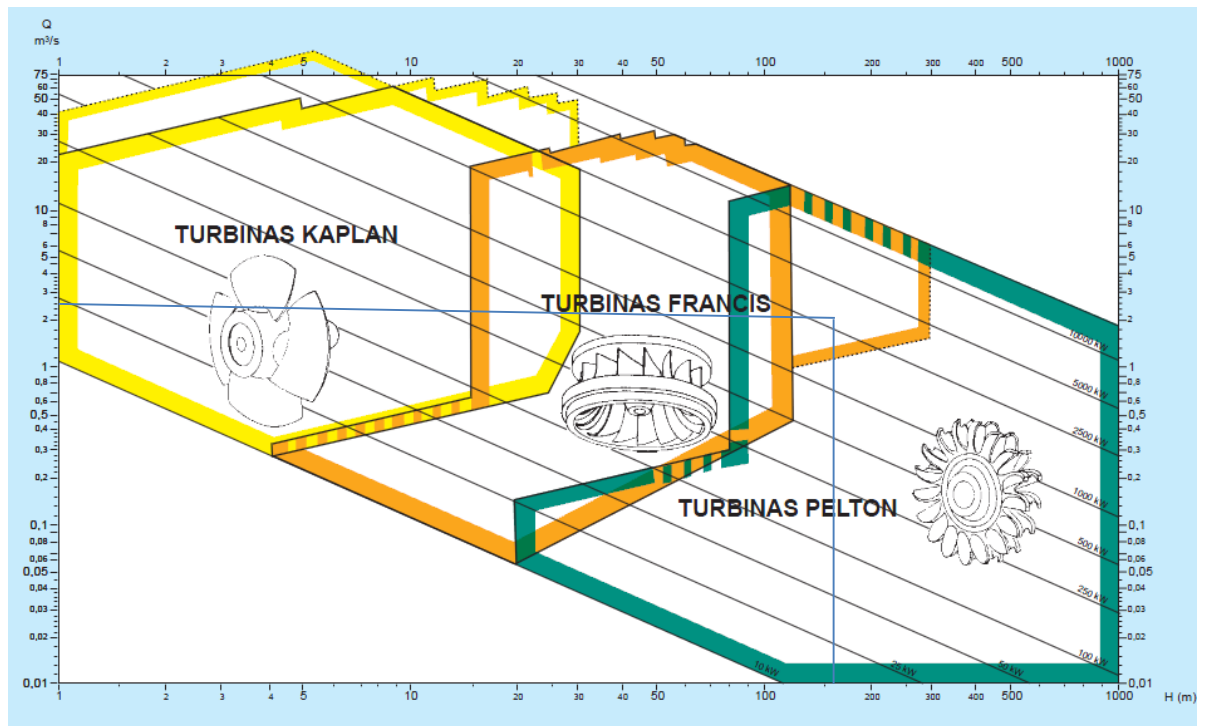
$$P = 3428,77 \text{ KW}$$

$$P = 3,42 \text{ MW}$$

**6.7.1.2 Selección del tipo de turbina.** Para preseleccionar el tipo de turbina a instalar en esta central, se utilizan ábacos que suelen facilitar los fabricantes de turbinas. Con ellos, se determina el tipo de turbina a partir de los parámetros de salto y caudal.

Tal y como puede verse en la figura 95, entrando en abscisas con el salto de 159,26 m y en ordenadas en el caudal de agua de 2,44 m<sup>3</sup>/s, se obtiene el tipo de turbina más adecuado para la instalación. Como se observa a continuación:

**Figura 95.** Abaco de selección de turbinas



**Fuente:** Catálogo para la selección del tipo de turbinas

Según lo que indica el nomograma, las turbinas más adecuadas son: Turbina Pelton y la Turbina Francis.

**6.7.1.3** *Cálculo de la velocidad específica en función de la potencia [3].* La velocidad específica en función de la potencia de la turbina se calcula con la ecuación 266, para ello tendremos los siguientes datos.

Datos:

- $N = 600$  [rpm].
- $P_t = 3,42$  MW = 4658,6 [CV].
- $H_N = 159,26$  [m].
- $Q_d = 2,44$   $m^3/s$ .

Entonces se tendrá:

$$N_s = \frac{N * \sqrt{P_t}}{(H_N)^{5/4}}$$

$$N_s = \frac{600 * \sqrt{4658,6}}{(159,26)^{5/4}}$$

$$N_s = 72$$

**6.7.1.4** *Cálculo de las velocidad especifica en funcion del caudal [3].* La velocidad especifica en función del caudal se calcula con la ecuacion 267:

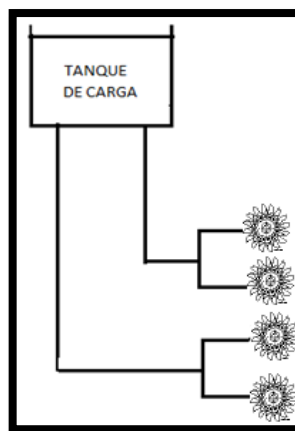
$$N_q = \frac{N * \sqrt{Q_d}}{(H_N)^{3/4}}$$

$$N_q = \frac{600 * \sqrt{2,44}}{(159,26)^{3/4}}$$

$$N_q = 20$$

Entonces con los valores de  $N_s = 72$  y  $N_q = 20$  comparado con las tablas 61 y 62, se puede observar que está en el rango en donde pertenece la Turbina Pelton de 4chorros.

**Figura 96.** Esquema General de Instalación la Primera Alternativa.



**Fuente:** Autores

**6.7.1.5 Cálculo de la potencia eléctrica [3].** Tomando una eficiencia del grupo de generación de  $\eta_{GR} = 0,69$  según la referencia [3] y remplazando en la ecuación 264 se tiene:

$$\eta_{GR} = \eta * \eta_{TR} * \eta_G$$

$$\frac{\eta_{GR}}{\eta} = \eta_{TR} * \eta_G$$

$$\frac{0,69}{0,90} = \eta_{TR} * \eta_G$$

$$0,76 = \eta_{TR} * \eta_G$$

Reemplazando los valores en la ecuación 261 se obtiene una potencia eléctrica en los bornes del generador de:

$$P_E = P * \eta_{TR} * \eta_G$$

$$P_E = 3,42\text{MW} * 0,76$$

$$P_E = 2,5 \text{ MW}$$

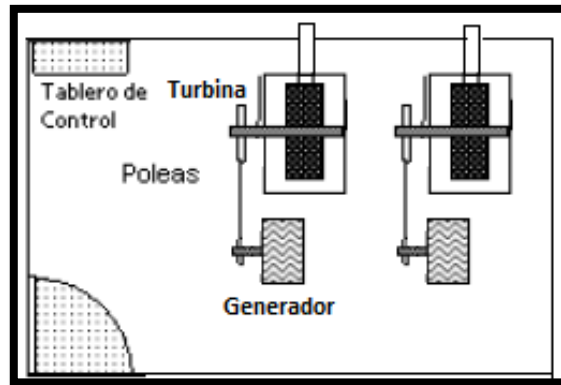
Como la alternativa planteada es instalar 4 turbinas de la misma capacidad, se tendrá entonces la Potencia Total de:

$$P_T = 10 \text{ MW}$$

**6.7.2 Diseño de la segunda alternativa.** Colocar desde el tanque de carga las dos tuberías de presión y que cada una de ellas sea conectada a una turbina y por ende a un generador como se ilustra en la siguiente figura:



**Figura 97.** Esquema de instalación en casa de máquinas de la segunda alternativa.



**Fuente:** Autores

**6.7.2.1** *Cálculo de la potencia en el eje de la turbina [3].* La potencia en el eje de la turbina es:

$$P = \frac{1000 * 4,88 * 159,26 * 0,90}{102}$$

$$P = 6857,5 \text{ KW}$$

$$P = 6,8 \text{ MW}$$

**6.7.2.2** *Cálculo de las velocidad específica en funcion de la potencia [3].* Se realiza el cálculo de forma análoga a la primera alternativa, utilizando la ecuación 266, y conociendo los siguientes datos:

**Datos:**

- $N = 600(\text{rpm})$
- $P_t = 9239,13(\text{CV})$
- $H_N = 159,26(\text{m})$

Entonces se tiene:

$$N_s = \frac{600\sqrt{9239,13}}{(159,26)^{\frac{5}{4}}}$$

$$N_s = 153$$

**6.7.2.3 Cálculo de las velocidad especifica en funcion del caudal [3].** De forma similar al procedimiento utilizado en la primera alternativa, utilizando la ecuacion 267 y reempazando los datos, se tiene:

**Datos:**

- $N = 400$  (rpm)
- $Q_d = 4,88$  (m<sup>3</sup>/s)

$$N_q = \frac{400 * \sqrt{4,88}}{(159,26)^{\frac{3}{4}}}$$

$$N_q = 44$$

Entonces como se tendrá,  $N_s = 153$  y  $N_q = 44$ , se compara con las tablas 61 y 62, en donde se observa que se encuentra en el rango en donde perteneciente a una Turbina Francis media.

**6.7.2.4 Cálculo de la potencia eléctrica.** La potencia eléctrica en los bornes del generador es:

$$P_E = P * \eta_{TR} * \eta_G$$

$$P_E = 6,8\text{MW} * 0,77$$

$$P_E = 5,2 \text{ MW}$$

Como en esta alternativa se plantea instalar 2 turbinas de la misma capacidad entonces la Potencia total a generar es:

$$P_T = 10,4 \text{ MW}$$

## **6.8 Selección de alternativa de generación**

Se selecciona la primera alternativa la de instalar 4 turbinas Pelton de 4 chorros con 4 generadores síncronos porque con 4 turbinas la confiabilidad del sistema va a ser optimo ya que máquinas en caso de avería de un grupo generador la producción total de generación eléctrica caería al 75% de producción total lo cual no afectarían de manera considerable a la central.

En cambio al tener 2 turbinas con 2 grupos de generación en el caso de alguna avería se estaría generando la mitad de potencia ocasionando pérdidas considerables a la central debido a que el recurso hídrico no se aprovecharía en su totalidad.

## **6.9 Diseño hidráulico de la turbina**

Una vez seleccionada el tipo de turbina que es Pelton de 4 chorros se procede con el diseño hidráulico de la turbina es decir, se determinan las dimensiones de sus elementos principales, en base al tipo de turbina.

El elemento esencial para el funcionamiento de la turbina es el sistema de regulación el cual se realiza por intermedio del inyector ,éste elemento se lo hace de tal forma que el agua se acelere transformando así toda su energía potencial en cinética ,en su interior posee un aguja con la capacidad de desplazarse de forma longitudinal con el fin de reducir la sección de paso del flujo de agua ,permitiendo de esta forma regular el caudal que fluye por la tobera y en efecto disminuir la velocidad de rotación de la turbina .

Los álabes o cucharas se encuentran ubicados en la periferia del rodete, los álabes tienen una forma de dos semi elipsoides, en cuya intersección se halla un nervio o cresta. Con esta geometría el chorro de agua al golpear la cuchara lleva a cabo la transmisión de energía al rodete, para luego ser expulsada hacia los costados de los álabes.

**6.9.1 Cálculo del diámetro Pelton.** El diámetro Pelton es el diámetro correspondiente a la circunferencia media de las cucharas, tangente a la línea media del chorro y se calcula de la siguiente manera:

$$D_p = \frac{84.54 * K'_u * H_n^{1/2}}{N} \quad [m] \quad (268)$$

Dónde:

$H_N$ =Altura neta, [m]

$N$ =Velocidad de rotación de la turbina, [rpm]

$K'_u$ =Coeficiente de velocidad de rotación

$$K'_u = 0,49 - 0,0072 * \frac{N_q}{i^{1/2}} \quad (269)$$

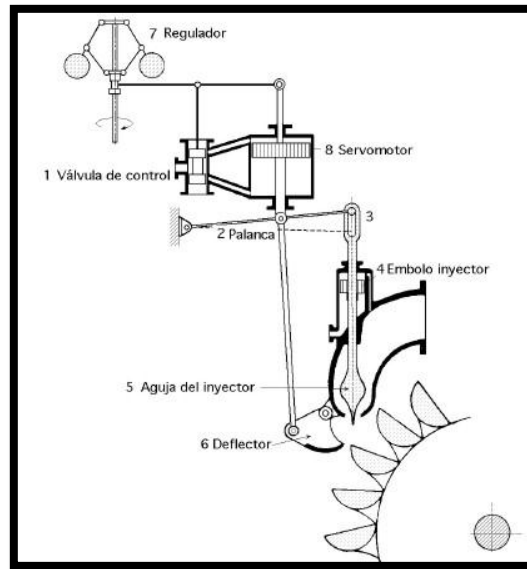
Dónde:

$N_q$ = Velocidad específica en función del caudal

$i$ = Número de toberas de la turbina

**6.9.2 Geometría del inyector.** Los inyectores de la turbina Pelton están formados por un codo de sección circular progresivamente decreciente, un tramo recto de sección circular en donde se monta coaxialmente una aguja con cabeza en forma de bulbo y finalmente una boquilla que oriente el flujo de agua en forma tangencial al rodete. En la siguiente figura está en forma detallada la constitución de un inyector:

**Figura 98.** Esquema del inyector de la turbina Pelton



**Fuente:** TELLO, Fernando. Estudio de factibilidad sistema de turbobombéo comunidad Cananvalle.

**6.9.3 Dimensionamiento de la tobera.** Las dimensiones de la tobera están en función del diámetro del chorro el mismo que se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_0}{\pi \cdot K_C \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}} \quad (270)$$

Dónde:

$d_0$  =Diámetro de la sección del chorro expresado [m]

$Q_0$  =Caudal que fluirá por la tobera de la turbina [m<sup>3</sup>/s]

$K_C$  =Coeficiente de velocidad de la tobera estimado (0,97 – 0,98)

$g$ = aceleración de la gravedad[m<sup>2</sup>/s]

$H$ = Salto neto[m]

En la siguiente tabla se pueden observar las proporciones de dimensiones de la tobera en función del diámetro del chorro.

**Tabla 64.** Proporciones de la tobera en función del diámetro del chorro

a	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$d_t$	x	$d_v$	b	$d_2$	l	r	$d_1$
1,42d	40°	60°	1,1d	0,5d	0,58d	3,25d	4,5d	6,0d	15d	2,5d
a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
1,62d	60°	90°	1,4d	1,16d	1,16d	3,7d	4,6d	12,1d	25d	4,0d

**Fuente:** TELLO, Fernando. Estudio de factibilidad sistema de turbobombeo comunidad Cananvalle.

Dónde:

a= Diámetro máximo de la aguja[m]

$\alpha_0$ =Angulo de la punta de la aguja [grados]

$\alpha_1$ =Angulo de la punta del inyector [grados]

$d_t$ =Diámetro de la punta del inyector[m]

x= Recorrido máximo de la aguja [m]

$d_v$ =Diámetro del vástago de la aguja[m]

b= Longitud de la aguja[m]

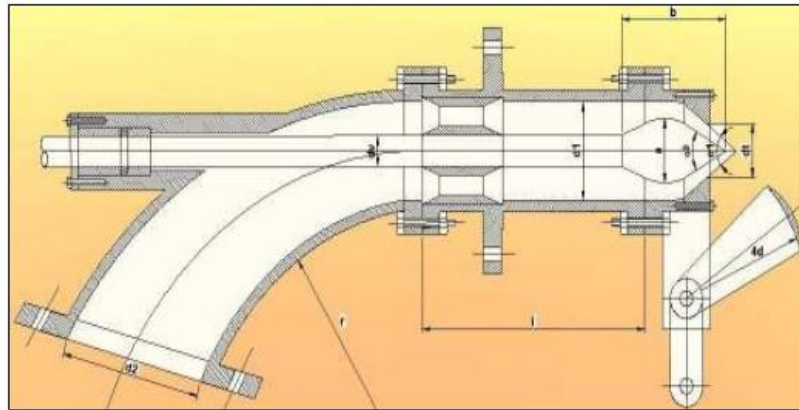
$d_2$ =Diámetro mayor en la curvatura del inyector [m]

l= Longitud del tramo recto del inyector[m]

r= Radio de curvatura del inyector[m]

$d_1$ =Diámetro del tramo recto del inyector [m]

**Figura 99.** Esquema de la tobera de la Turbina Pelton



**Fuente:** TELLO, Fernando. Estudio de factibilidad sistema de turbobombeo comunidad Cananvalle.

**6.9.4 Geometría del rodete.** La geometría del rodete de la turbina depende principalmente de la relación que existe entre el diámetro Pelton ( $D_p$ ) y el diámetro de la sección transversal del chorro ( $d$ ), y también dependen del número específico de revoluciones ( $N_q$ ), pudiendo observarse en la siguiente ecuación:

$$\frac{D_p}{d} = \frac{76 \cdot i^{1/2}}{N_q} - 1.12 \quad (272)$$

Esta ecuación se deduce de las expresiones que definen el número de revoluciones y el diámetro de la sección del chorro.

En la siguiente tabla están los diferentes valores para las dimensiones de las cucharas :

**Tabla 65.** Dimensiones de las cucharas Pelton en función del diámetro de chorro

B	L	D	f	M	e	$\beta_1$	$\beta_2$	l	$\beta_3$	$\beta_4$	J
2,5d	2,5d	0,85d	0,8d	1,0d	0,3d	10°	4°	1,6d	2°	0°	0,1
a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
4,0d	3,5d	1,3d	1,1d	1,2d	0,6d	30°	20°	1,7d	5°	20°	0,2

**Fuente:** TELLO, Fernando. Estudio de factibilidad sistema de turbobombeo comunidad Cananvalle.

Dónde:

$B$ = Ancho de las cucharas, [mm]

$L$ = Longitud de las cucharas, [mm]

$D$ = Profundidad de las cucharas, [mm]

$f$ = Longitud de la cuchara desde el corte hasta el centro del chorro,[mm]

$M$ = Ancho del corte de la cuchara,[mm]

$e$ = Longitud radial del corte de la cuchara,[mm]

$l$ = Longitud de la cuchara en la mitad de la misma, [mm]

$\beta_1$ =Angulo de salida del agua de la cuchara

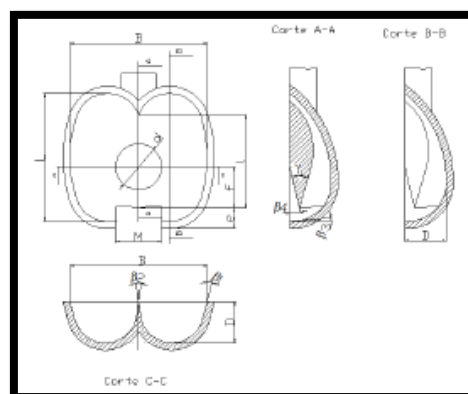
$\beta_2$ =Angulo de entrada del agua de la cuchara

$\beta_3$ =Angulo en la Punta de la cuchara

$\beta_4$ =Angulo formado por las medias cucharas

$J$ = Espesor de las cucharas,[mm]

**Figura 100.** Esquema de las cucharas de la turbina Pelton



**Fuente:** TELLO, Fernando. Estudio de factibilidad sistema de turbobombceo  
comunidad Cananvalle.



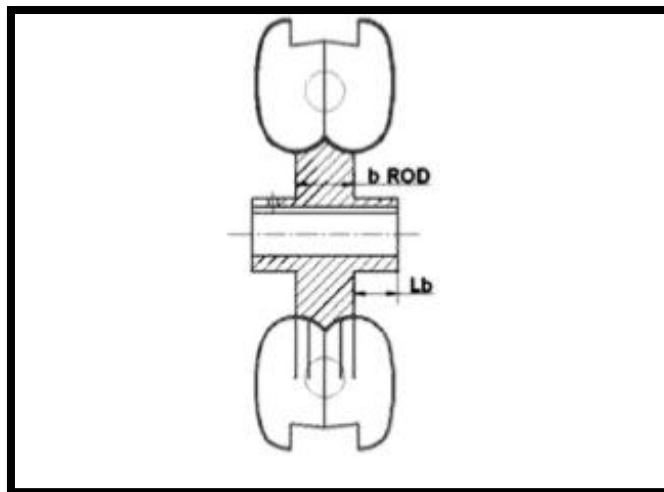
**6.9.5 Diseño y cálculo del rodete.** Las dimensiones del rodete están definidas principalmente por la relación diámetro primitivo /diámetro del chorro .Esta relación define también el diseño de detalle del rodete Pelton principalmente en lo que se refiere a la fijación de las cucharas del disco.

El rodete pelton es el encargado de transformar la energía cinética en trabajo útil del eje.

Después de que el agua abandonado la tobera y en el instante que comienza a entrar en la cuchara, se puede establecer la configuración vectorial de las velocidades involucradas.

Al moverse al agua por la cuchara ,se efectúa una variación de dirección del chorro. La interacción entre el agua y el alabe hace que se produzca un empuje en el alabe, pero a la vez el alabe desvía el chorro, produciendo una reacción igual y contraria, reacción cuya componente horizontal es en realidad la fuerza que mueve las cucharas en la dirección de la velocidad.

**Figura 101.** Corte transversal de un rodete de una turbina tipo Pelton



**Fuente:** TELLO, Fernando. Estudio de factibilidad sistema de turbobombéo comunidad Cananvalle.

Dónde:

$b_{\text{ROD}}$ = Espesor del rodete [mm]

$L_b$ =Longitud del cubo del rodete, [mm]

El espesor y la longitud del cubo del rodete se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$b_{\text{ROD}}=M*18 \quad (273)$$

Siendo M la medida para la cuchara Pelton para piezas fundidas.

$$L_b=\frac{b_{\text{ROD}}}{1.6} \quad (274)$$

La principal ventaja que presenta un rodete fundido en una sola pieza ,es que con ellos se obtiene diámetros pequeños de rodete lo cual permite utilizar generadores de mayor velocidad ,los cuales son más económicos. En cambio los rodetes con cucharas empernadas poseen la ventaja de que si la cuchara sufre algún tipo de desgaste o deficiencia permite la sustitución de las cucharas defectuosas por unas nuevas.

Para determinar las dimensiones del cubo del rodete se considera el diámetro del eje de la turbina, éste a su vez se recomienda que sea dos veces el diámetro del eje y que la longitud del canal chavetero sea igual a 1.3 veces el diámetro del eje.

#### **6.10 Cálculo del diámetro de tubería de entrada a la turbina según bondush [13]**

$$\phi_{\text{pr}} = 1,27 * \frac{Q_{\text{dg}}^{0,4268}}{(H_b + h_s)^{0,1423}} \quad (275)$$

Dónde:

- $\Phi_{\text{et}}$  = Diámetro de entrada a cada turbina [m].
- $Q_{\text{dg}}$  = Caudal de diseño en la turbina [2,44 m<sup>3</sup>/s]

- Hb= Altura bruta [m].
- hs = Altura de sobrepresión por golpe de ariete [m].

$$\phi_{et} = 1,27 * \frac{2,44^{0,4268}}{(164 + 164 * 0,3)^{0,1423}}$$

$$\phi_{et} = 0,86\text{m [34 in]}$$

**6.11 Dimensionamiento de la turbina hidráulica.** Con los parámetros antes mencionados se definen las siguientes dimensiones de la turbina hidráulica que se muestran a continuación:

- **Número de toberas:** 4
- **Potencia al freno:** 3 MW
- **Diámetro pelton** 745 mm
- **Diámetro del chorro:** 119,5 m

**Tabla 66.** Dimensiones de la tobera

a	0,1689	Diámetro máximo de la aguja[m]
$\alpha_0$	50	Angulo de la punta de la aguja [grados]
$\alpha_1$	70	Angulo de la punta del inyector [grados]
$d_t=$	0,1434	Diámetro de la punta del inyector[m]
x	0,0956	Recorrido máximo de la aguja [m]
$d_v=$	0,0717	Diámetro del vástago de la aguja[m]
b	0,3883	Longitud de la aguja [m]
$d_2$	0,53775	Diámetro mayor en la curvatura del inyector [m]
L	0,956	Longitud del tramo recto del inyector[m]

r	1,79	Radio de curvatura del inyector[m]
$d_1$	0,3585	Diámetro del tramo recto del inyector [m]

**Fuente:** Autores

**Tabla 67.** Dimensiones de las cucharas

B	358,5	Ancho de las cucharas, [mm]
L	298,75	Longitud de las cucharas, [mm]
D	101,5	Profundidad de las cucharas ,[mm]
f	95,6	Longitud de la cuchara desde el corte hasta el centro del chorro,[mm]
M	143,4	Ancho del corte de la cuchara,[mm]
e	47,8	Longitud radial del corte de la cuchara,[mm]
I	191,2	Longitud de la cuchara en la mitad de la misma, [mm]
$\beta_1$	15	Angulo de salida del agua de la cuchara
$\beta_2$	10	Angulo de entrada del agua de la cuchara
$\beta_3$	3	Angulo en la Punta de la cuchara
$\beta_4$	5	Angulo formado por las medias cucharas
J	100	Espesor de las cucharas,[mm]

**Fuente:** Autores

**6.12** *Generación eléctrica [3].* El generador eléctrico utilizado en pequeñas centrales hidroeléctricas, habitualmente será de tipo síncrono, como se menciona en el capítulo III.

La velocidad que tendrá será de 600 rpm con un número de polos igual a 12 a una frecuencia de 60 Hz. La potencia de salida del generador es de 2,5 MW.

**6.13** *Diseño y selección del sistema de transmisión.* La transmisión que se necesita para esta alternativa en el caso de ser el grupo Turbina –Generador tipo horizontal es una transmisión por bandas planas cuya relación de transmisión es de 1 a 3 debido a que la velocidad de la turbina es de 600 rpm y la del generador es de 1800 rpm .El rendimiento de la transmisión es de 0,95.

Cabe recalcar que en el caso de que grupo Turbina –Generador sea tipo vertical como es la alternativa final seleccionada se omiten estos cálculos por motivos propios de diseño.

**6.14** *Especificaciones técnicas de los equipos electromecánicos*

<b>EMPRESA:</b>	Alternative Energy Systems Ltd.
<b>TURBINA HIDRALICA:</b>	PELTON TPV-04JATOS Compacta
<b>Eje:</b>	Vertical
<b>Caudal de diseño:</b>	1,86 m <sup>3</sup> /s
<b>Eficiencia:</b>	90,8%
<b>Potencia en el eje de la turbina :</b>	2665 kW por unidad
<b>Velocidad de la turbina:</b>	600 rpm
<b>Numero de toberas:</b>	4

**Rotor:**

Acero inoxidable 1,4313 de diámetro

**GENERADOR.**

Generador Síncrono Trifásico sin escobillas

Potencia nominal 3000Kva

Factor de potencia 0,85

Velocidad 600 rpm

Voltaje 6,3 kV

Frecuencia 60 Hz

Protección IP 23

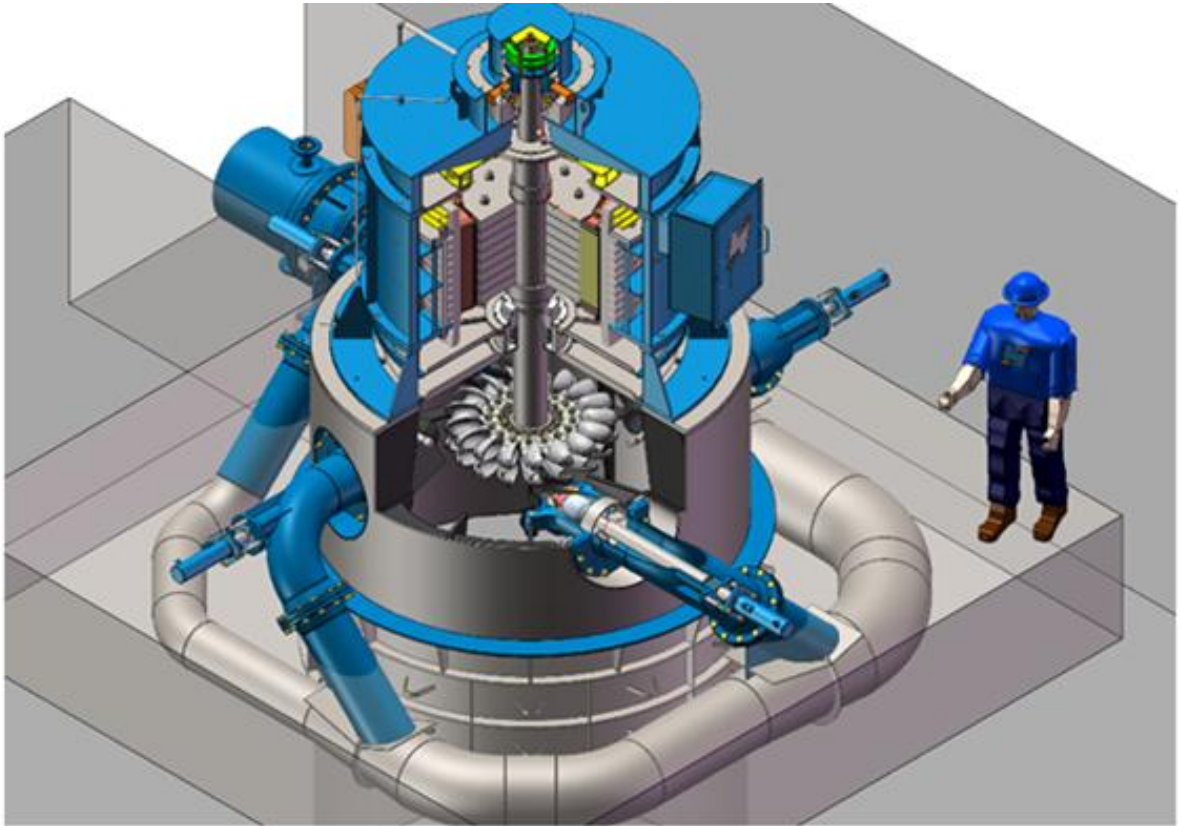
Aislamiento clase F/B

Excitado por diodos rotativos

Regulación automática

### 6.15 Esquema del grupo de generación seleccionado

**Figura 102.** Esquema de generación empresa Hidroenergía [ANEXO W]



## CAPÍTULO VII

### 7. ANÁLISIS DE PRESUPUESTOS Y COSTOS DEL PROYECTO

El análisis económico es de gran importancia para orientar a la toma de decisiones en torno a ejecutarlo o no, puesto que en la generación hidroeléctrica es importante el desarrollo y para elevar el nivel de vida de una población.

#### 7.1 Costos de inversión

**7.1.1 Costos directos.** Son los encargados por concepto del material, de la mano de obra y de gastos correspondientes a la construcción, adquisición de equipos y demás accesorios, además de puesta en marcha de la central.

Para analizar estos costos directos se consideran los siguientes aspectos:

- Costo de materiales
- Costo de mano de obra
- Costo de equipos y maquinaria
- Costos de transporte

**7.1.1.1 Costos de materiales.** Continuación se detallan los costos de los diferentes materiales necesarios para la construcción de la central hidroeléctrica. Cabe recalcar que en esta lista están incluidos los materiales de la obra civil, hidráulica y mecánica.



**Tabla 68.** Costos de materiales

<b>TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS DE MATERIALES ESTIMADOS PARA LA EJECUCION DEL PROYECTO</b>					
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	Equipos hidrogeneradores	4	UNID	4591003,872	18364015,49
2	Tubería $\varnothing$ 56in	1426,52	m	2850,15	406772,178
3	Tubería de 34in	10	m	150	1500
4	Junta de expansión $\varnothing$ 56 in	10	m	1000	10000
5	cemento	45.000	Kg	0,15	6750
6	pintura poliuretano	30,6	GLS	115	3519
7	pingos	52065,97	m	0,81	42173,4357
8	ripio	250	m3	10	2500
9	brida $\varnothing$ 56in	8	UND	127,4	254,8
10	Brida de diámetro 34 in	4	UND	115,14	460,56
11	Válvula de compuerta bridada	4	UND	654	2616
12	Tablero contrapachado	66,43	UND	27,12	1801,5816
13	Arena	105,27	m3	10	1052,7
14	Pintura epóxido	42,3	GLS	45	1903,5
15	Válvula mariposa	4	UND	884,3	3537,2
16	Tabla de monte 0,30 M	639,6	m	0,79	505,284
17	Rieles de encofrado	392,5	UND	1,13	443,525
18	Bandas y poleas	4	UND	480	1920
19	Válvula mariposa	4	UND	4243,95	16975,8
20	Válvula check retención 56 in	2	UND	843,75	1687,5
21	Válvula check retención 34in	4	UND	654,23	2616,92
22	Pintura zinc inorgánico tipo I-C	44,23	GLS	105	4644,15
23	Tubería Pvc	35	m	17,88	625,8
24	Disco de desgaste	67,96	UND	3,6	244,656
25	Tablero contrapachado para encofrado	39,74	UND	18,08	718,4992
26	Desinfectante para madera	3,6	g	44,3	159,48
27	Eternit 2.4 x 1.05 m	16,5	plancha	9,5	156,75
28	clavos	280,56	kg	0,76	213,2256
29	Electrodo # 7010 3/16	32,72	kg	4	130,88
30	Pintura de caucho	10	gal	11,85	118,5
31	Manómetro de presión 600 psi	2	UND	58,76	117,52
32	Aceite quemado	185	gal	0,5	92,5
33	Varilla de acero cuadrado 3/4 "	63,75	kg	0,7	44,625
34	Perno 3/4 " x 4 1/4" CS	24	UND	1,8	43,2
35	Tira de eucalipto	90	m	0,45	40,5

36	estacas	106,25	lb	0,37	39,3125
37	Ladrillos	2000	UND	0,1	200
38	Perno 3/4 " x 4 1/4" CS	20	UND	0,5	10
					<b>18880403,27</b>

**7.1.1.2 Costos de mano de obra.** Los Costos de la mano de obra están establecidos por la Contraloría General de Estado .A continuación se muestra el detalle de cantidades y precios de la mano de obra necesaria para la ejecución del proyecto.

**Tabla 69.** Costo de mano de obra

	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA	HORAS-HOMBRE	SALARIO HORA	COSTO TOTAL
1	Peón	Estructura Ocupacional E2	10200	2,44	24888
2	Ayudante en general	Estructura Ocupacional E2	1000	2,44	2440
3	Albañil	Estructura Ocupacional D2	1300	2,47	3211
4	Carpintero	Estructura Ocupacional D2	550	2,47	1358,5
5	Pintor	Estructura Ocupacional D2	300	2,47	741
6	Cadenero	Estructura Ocupacional D2	100	2,47	247
7	Maestro soldador	Estructura Ocupacional C1	200	2,56	512
8	Maestro de obra	Estructura Ocupacional C2	950	2,54	2413
9	Operador de maquinaria	Estructura Ocupacional C2	100	2,56	256
10	Chofer	Choferes profesionales	400	3,68	1472
11	Inspector	Estructura Ocupacional B3	500	2,56	1280
12	Supervisor de pintura	Supervisor	80	6,61	528,8
13	Topógrafo 1	Topografía	100	2,54	254
14	Topógrafo 2	Topografía	75	2,56	192
15	Maestro Soldador	Mecánico	40	2,56	102,4
16	Maestro de Mecanizado	Mecánico	10	2,56	25,6
17	Ayudante de soldadura	Sin titulo	20	2,47	49,4
18	Ayudante de albañil	Estructura ocupacional E2	25	2,44	61
19	Maestro Secap	Estructura ocupacional C1	15	2,56	38,4
20	Fierrero	Estructura ocupacional D2	8	2,47	19,76
21	Ayudante de fierrero	Estructura ocupacional E2	2	2,44	4,88
				<b>TOTAL</b>	<b>40094,74</b>

**7.1.1.3 Costos de equipos y maquinaria.** En el siguiente cuadro se detallan todos los equipos y maquinaria que se necesitarán para la construcción del proyecto.

**Tabla 70.** Costo de mano de equipos y maquinaria

	DESCRPCIÓN	UNIDAD	HORAS TOTALES	TARIF A	COSTO TOTAL
1	Herramienta menor	Hora	10000	0,2	2000
2	Compresor	Hora	250	1,8	450
3	Equipo de topografía	Hora	200	2	400
4	Tecle	Hora	600	0,5	300
5	Concretera	Hora	150	2,1	315
6	Teodolito	Hora	150	3	450
7	Soldadora eléctrica 300 A	Hora	160	1	160
8	Amoladora eléctrica	Hora	130	1,1	143
9	Vibrador	Hora	120	1	120
11	Equipo de suelda autógena	Hora	25	2	50
12	Torno de mecánica industrial	Hora	5	10	50
13	Equipo de oxicorte	Hora	10	1,1	11
14	Andamios módulo incluye transporte	Hora	80	0,12	9,6
15	Grúa móvil	Hora	20	25	500
16	Cortadora	Hora	10	1	10
17	Dobladora de hierro	Hora	10	0,14	1,4
18	Cizalla	Hora	8	0,14	1,12
				<b>TOTAL</b>	<b>4971,12</b>

**7.1.1.4 Costos de transporte.** A continuación se detallan todos los costos de transporte de materiales, equipos y del personal que eventualmente tengan por cualquier motivo que trasladarse fuera del área del proyecto.

**Tabla 71.** Costo de transporte

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Transporte Turbina Pelton	4	UND	500	2000
Volqueta 8 m3	75	Horas	15	1125
Camioneta	180	Horas	5	900
Retroexcavadora	150	Horas	45	6750
				<b>10775</b>

Sumando todos los costos anteriores se tiene un total de **18 936 244,13 USD**

#### **7.1.2** *Costos indirectos*

Son los gastos de tipo general no incluidos en los costos directos, pero que intervienen para que el proyecto sea ejecutado de la manera más correcta. Para analizar los costos indirectos se considera los siguientes aspectos:

- Costos de ingeniería Básica y de detalle
- Imprevistos

##### **7.1.2.1** *Costos de ingeniería básica y de detalle*

En estos costos es de mucha importancia considerar el trabajo de los técnicos profesionales como: Ingenieros mecánicos, ingenieros eléctricos, proyectistas, ingeniero civil, topógrafos, etc. Además se considera también los rubros generales como gastos de oficina.

**Tabla 72.** Costos de ingeniería básica y detalle

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTOS UNITARIOS	COSTOS TOTAL
Internet	350	GLOBAL	0,8	280,00
Gastos visita de equipos	1	GLOBAL	200	200,00
Empastados documentos	5	UND	120	600,00
Impresiones documentos en general	25	UND	15	375,00
Planos topográficos	5	UND	120	600,00
Planos generales	15	UND	30	450,00
Gastos de movilización: Combustible	2	GLOBAL	100	200,00
Viáticos	1	GLOBAL	780	780,00
Dirección del proyecto y personal técnico	1	GLOBAL	1930	1930,00
Gastos de oficina	1	GLOBAL	500	500,00
			TOTAL	<b>5915,00</b>

**7.1.2.2 Costos de imprevistos.** Para analizar estos costos se considera la posibilidad de variación de precios de materiales, mano de obra, equipos y demás servicios debido a que no se sabe con precisión la fecha de iniciación del proyecto .Además ya que es un estudio estimado es preferible establecer un 10% del costo total para imprevistos, por lo tanto estos costos tienen una valoración de 1 893 624,413 USD.

Sumando los costos anteriormente descritos se tiene que los costos indirectos totales son : 5915,00 USD + 1893624,413 USD = 1 899 539,413 USD

**7.1.3 Costo total de la inversión.** El costo total del proyecto se obtiene sumando los costos directos y los costos indirectos.

Costo total de la inversión:

18 936 244,13 USD + 1 899 539,413 USD = 20 835 783,54 USD

## 7.2 Costos de operación y mantenimiento.

**7.2.1 Costos de operación mensual.** Para estimar estos costos de operación mensual del sistema de generación se toma en cuenta los siguientes aspectos:

Se considera dos operadores en turnos diurno y nocturno para el sistema de generación.

A continuación se detallan los rubros de operación:

**Tabla 73.** Costos de operación mensual

RUBRO	COSTO
Operador turno diurno	300
Operador turno nocturno	300
Equipos e implementos de seguridad	60
Gastos misceláneos	25
<b>Gastos totales mensuales</b>	<b>685</b>

Por lo tanto los gastos anuales de operación son: 8220 USD

**7.2.2 Costos de mantenimiento anual.** Para el plan de mantenimiento del sistema se necesita anualmente solventar los costos de inspección y recambio de piezas. A continuación se detalla una lista de las posibles actividades de mantenimiento que se podría dar anualmente al sistema.

**Tabla 74.** Costos de mantenimiento anual

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Engrasado de chumaceras cada 6 meses	4	100,00	400,00
2	Desmontaje y chequeo del generador.	4	150,00	600,00
3	Engrase cojinetes internos del generador	4	200,00	800,00

<b>4</b>	Cambio de retenedores	4	200,00	800,00
<b>5</b>	Mantenimiento generador (limpieza bobinas ,aislamientos )	1	180,00	180,00
<b>6</b>	Imprevistos	1	50,00	50,00
<b>7</b>	Cambio de cojinetes en la turbina	2	100,00	200,00
			<b>TOTAL</b>	<b>3030.00</b>

También es de gran importancia considerar las herramientas necesarias para el mantenimiento continuo del sistema los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 75.** Costos de herramientas

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Herramientas necesarias</b>	<b>Costo (USD)</b>
2	UND	Destornilladores plano y estrella	15,00
2	UND	Alicate para mecánico	10,00
2	UND	Martillo mecánico	15,00
2	UND	Juego de llave de boca	30,00
2	UND	Juego de llaves hexagonales	30,00
1	UND	Rastrillo para limpieza de las rejillas	15,00
2	UND	Pala	15,00
1	UND	Extractor de rodamientos	25,00
1	UND	Arco de sierra	10,00
1	UND	Escalera	30,00
2	UND	Machete	12,00
2	UND	Linterna de mano	30,00
1	UND	Tecle	150,00
5	GAL	Aceite lubricante	60,00
25	GAL	Diesel para limpieza	15,00
10	UND	Twipe	10,00
		<b>TOTAL</b>	<b>472,00</b>

Entonces el costo total de operación y mantenimiento es de  $472 + 3030 = \mathbf{3502 \text{ USD.}}$

### 7.3 Beneficios

Los beneficios que trae la instalación de la central hidroeléctrica se ven reflejados en la venta de energía que se realizara a futuro pues el vender energía propia y a bajo costo permite obtener ingresos considerables y a la vez les permite implementar a los habitantes de la zona en lo que es turismo brindándoles mejor comodidad a los visitantes.

**7.3.1 Cálculo de la venta de energía.** La central hidroeléctrica El Altar genera 10 MW los mismos que se venderán con la finalidad de obtener ingresos económicos para la comunidad .Como propuesta se ha recomendado vender aproximadamente los 9,8 MW y los restantes tenerlos en consideración para uso propio de la comunidad o para la implementación de obras turísticas que igual aportarían con el crecimiento y desarrollo de la comunidad.

Se estableció que la energía generada por la Central Hidroeléctrica será vendida en su totalidad desde un inicio. Asumiendo un costo de US\$ 0.04 por kWh se puede calcular los ingresos anuales por venta de energía.

Considerando que la central genere las 24 horas del día, en el mes tendríamos:

$$24 \text{ h/día} \times 30 \text{ días /mes} = 720 \text{ h/mes},$$

$$\text{Costo total de energía: } 9800\text{KW} \times 720 \text{ h/mes} = 7\,200\,000 \text{ kwh/mes}$$

$$\text{Costo total de energía al mes: } 7\,200\,000 \text{ kwh/mes} \times 0,04 \text{ USD/kwh} = 288000 \text{ USD/mes}$$

$$\text{Costo total venta energía al año: } \mathbf{3\,386\,880 \text{ USD}}$$



#### 7.4 Valor de la depreciación

Para determinar la depreciación del proyecto se procede utilizando la depreciación lineal en donde considera que el bien pierde su valor anualmente de manera uniforme, desde el valor inicial en el año de la instalación hasta cero en el último año de la vida útil del proyecto.

La vida útil para pequeñas centrales del equipo electromecánico se considera 30 años y para la obra civil de 50 años.

El valor residual se determina con la siguiente ecuación:

$$V_{Rn} = V_1 - V_1 * \frac{(n)}{N} \quad (276)$$

**Dónde:**

$V_{Rn}$  = Valor residual en el año n, [USD]

$V_1$  = Valor inicial del bien, en al año de su instalación:

n= Año en que se calcula el valor residual, [años]

N= Vida útil del bien, [años]

Entonces remplazando estos parámetros en la ecuación 276 se tiene:

Parámetros:

$V_i = 21\,303\,966,36$  USD Presupuesto de la alternativa final

N= 50 años

n= 30 años

Reemplazando estos valores en la ecuación 276 se tiene:

$$V_{Rn} = V_1 - V_1 * \frac{(n)}{N}$$

$$V_{Rn} = 21\,303\,966,36 - 21\,303\,966,36 * \frac{(30)}{50}$$

$$V_{Rn} = 8\,521\,586,544 \text{ USD}$$

## 7.5 Elaboración del cuadro flujo de caja

Este cuadro se elabora tomando en cuenta los siguientes rubros:

### Ingresos:

- Consumo de energía al valor que le representaría al tener servicio estatal
- Valor residual de la instalación y equipo

### Egresos:

- Inversiones
- Costo de operación y mantenimiento

### 7.5.1 Cálculo de flujo de caja interna

**Tabla 76.** Flujo de caja interno

Año	Valor energía	Valor residual	Beneficio	Inversión	Operación y mantenimiento	Costo total	Flujo de caja
1	3386880	0	3386880	20835783,5	11250	20847033,5	- 17460153,5
2	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
3	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
4	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
5	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
6	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
7	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
8	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
9	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630

10	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
11	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
12	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
13	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
14	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
15	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
16	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
17	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
18	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
19	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
20	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
21	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
22	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
23	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
24	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
25	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
26	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
27	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
28	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
29	3386880	0	3386880	0	11250	11250	3375630
30	3386880	8521586,54	11908466,5	0	11250	11250	11897216,5

## 7.6 Evaluación económica

**7.6.1 Cálculo del valor actual neto.** Es la diferencia de la suma total de los beneficios actualizados, menos la suma total de los costos actualizados, a una misma tasa de descuento  $i$ .

La regla de decisión señala que el proyecto será rentable si el valor actual del flujo de beneficios netos que genera es positivo, descontando estos flujos a la tasa de descuento (interés) pertinente para la persona o grupo que realiza el proyecto.

La tasa de descuento que se utilizó para el cálculo del VAN es del 9%, según la tasa activa de interés que se muestra en el anexo Z'. El cálculo del VAN se describe en la siguiente tabla:

**Tabla 77.** Cálculo del valor actual neto

Año	Beneficio	Factor del valor Actual	Beneficio actualizado	Costo	Factor del Valor Actual	Costo Actualizado
1	3386880	0,9174	3107123,7	20847033,5	0,9174	19125068,5
2	3386880	0,8417	2850736,9	11250	0,8417	9469,1
3	3386880	0,7722	2615348,7	11250	0,7722	8687,3
4	3386880	0,7084	2399265,8	11250	0,7084	7969,5
5	3386880	0,6499	2201133,3	11250	0,6499	7311,4
6	3386880	0,5963	2019596,5	11250	0,5963	6708,4
7	3386880	0,547	1852623,4	11250	0,547	6153,8
8	3386880	0,5019	1699875,1	11250	0,5019	5646,4
9	3386880	0,4604	1559319,6	11250	0,4604	5179,5
10	3386880	0,4224	1430618,1	11250	0,4224	4752,0
11	3386880	0,3875	1312416,0	11250	0,3875	4359,4
12	3386880	0,3555	1204035,8	11250	0,3555	3999,4
13	3386880	0,3262	1104800,3	11250	0,3262	3669,8
14	3386880	0,2993	1013693,2	11250	0,2993	3367,1
15	3386880	0,2475	838252,8	11250	0,2475	2784,4
16	3386880	0,2519	853155,1	11250	0,2519	2833,9
17	3386880	0,2311	782708,0	11250	0,2311	2599,9
18	3386880	0,212	718018,6	11250	0,212	2385,0
19	3386880	0,1945	658748,2	11250	0,1945	2188,1
20	3386880	0,1784	604219,4	11250	0,1784	2007,0
21	3386880	0,1637	554432,3	11250	0,1637	1841,6
22	3386880	0,1502	508709,4	11250	0,1502	1689,8
23	3386880	0,1378	466712,1	11250	0,1378	1550,3
24	3386880	0,1264	428101,6	11250	0,1264	1422,0
25	3386880	0,116	392878,1	11250	0,116	1305,0
26	3386880	0,1064	360364,0	11250	0,1064	1197,0
27	3386880	0,0976	330559,5	11250	0,0976	1098,0
28	3386880	0,0896	303464,4	11250	0,0896	1008,0
29	3386880	0,0822	278401,5	11250	0,0822	924,8

30	11908466,5	0,0754	897898,4	11250	0,0754	848,3
		BENEFICIO TOTAL	35347209,6		COSTO TOTAL	19230024,3

### 7.7 Cálculo de la relación beneficio- costo

Es el cociente de la suma total de los beneficios actualizados divididos entre la suma total de los costos actualizados a una misma tasa de descuento.

Si este cociente es mayor que 1 significa que para la tasa de descuento  $i$ , los beneficios son mayores que los costos y si es menor que 1, los costos son mayores que los beneficios.

La regla señala que debe realizarse el proyecto solo si la relación de beneficios a costos es mayor que la unidad.

La tasa de descuento que se utilizó para el cálculo del VAN es del 9% según la tasa activa de interés mostrada en el anexo Z' El cálculo de la relación beneficio/ costo está dada por:

$$\frac{B}{C} = \frac{35347209,6}{19230024,3} = 1,8$$

Ya que este cociente es mayor que la unidad significa que para la tasa de descuento  $i = 9\%$  los beneficios son mayores que los costos es decir tenemos otro indicador que el proyecto es rentable y se recupera dentro del periodo de vida útil en los primeros años la inversión.

### 7.8 Cálculo de la tasa interna de retorno

Es la tasa de descuento (interés) que hace que la suma de todos los beneficios sea igual a la suma de todos los costos, actualizados a esta tasa de descuento.

Se deduce que si los costos son iguales a los beneficios, el proyecto solo cubrirá sus costos y no dejará ninguna utilidad o beneficio monetario .En este caso el VAN es igual a cero y la relación B/C es igual a uno.

La TIR se calcula iterativamente, es decir una y otra vez probando con diversas tasa de interés .En la siguiente tabla se indica el cálculo del VAN para dos tasas de interés 15% y 25%.

**Tabla 78.** Cálculo del Van a diferentes tasas de interés

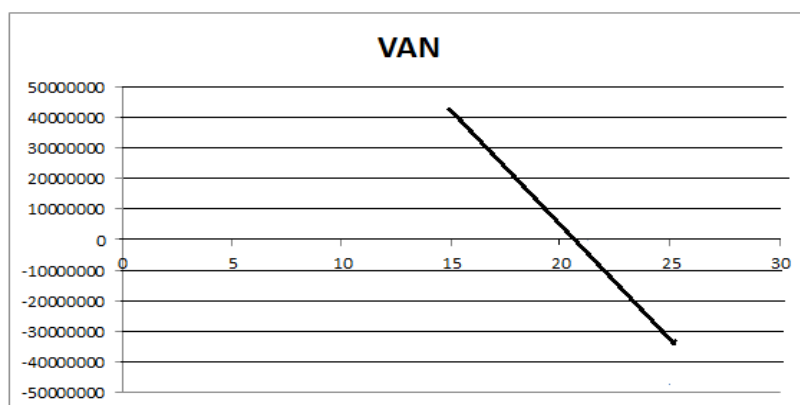
		<b>Tasa 15%</b>		<b>Tasa 25%</b>	
<b>Año</b>	<b>Flujo de caja</b>	<b>Factor del valor actual</b>	<b>Van 15%</b>	<b>Factor del valor</b>	<b>Van 25%</b>
1	-17460153,5	0,8696	- 15183349,5	0,8	- 13968122,8
2	3375630	0,7562	2552651,41	0,64	2160403,2
3	3375630	0,6575	2219476,73	0,512	1728322,56
4	3375630	0,5718	1930185,23	0,4096	1382658,05
5	3375630	0,4972	1678363,24	0,3277	1106193,95
6	3375630	0,4323	1459284,85	0,2622	885090,186
7	3375630	0,3759	1268899,32	0,2097	707869,611
8	3375630	0,3269	1103493,45	0,1678	566430,714
9	3375630	0,2843	959691,609	0,1342	453009,546
10	3375630	0,2472	834455,736	0,1074	362542,662
11	3375630	0,215	725760,45	0,0859	289966,617
12	3375630	0,1869	630905,247	0,0687	231905,781
13	3375630	0,1625	548539,875	0,055	185659,65
14	3375630	0,1413	476976,519	0,044	148527,72
15	3375630	0,1229	414864,927	0,0352	118822,176
16	3375630	0,1069	360854,847	0,0245	82702,935
17	3375630	0,0929	313596,027	0,0122	41182,686
18	3375630	0,0808	272750,904	0,0099	33418,737
19	3375630	0,0703	237306,789	0,0086	29030,418
20	3375630	0,0611	206250,993	0,0076	25654,788
21	3375630	0,0531	179245,953	0,0075	25317,225
22	3375630	0,0462	155954,106	0,0074	24979,662
23	3375630	0,0402	135700,326	0,0073	24642,099
24	3375630	0,0349	117809,487	0,0072	24304,536
25	3375630	0,0304	102619,152	0,0071	23966,973
26	3375630	0,0264	89116,632	0,0054	18228,402
27	3375630	0,023	77639,49	0,0034	11477,142
28	3375630	0,02	67512,6	0,0028	9451,764

29	3375630	0,0174	58735,962	0,0022	7426,386
30	11897216,5	0,0151	179647,969	0,0012	14276,6598
			4174940,33		- 3244659,97

El cálculo del TIR se lo puede abreviar con la ayuda de un gráfico como si indica en la figura 103, para realizar esta gráfico se ubica en el eje de las ordenadas el VAN correspondiente, en las abscisas la tasa de interés.

Posteriormente se ubican los puntos del VAN calculado para 15% y 25% se une los dos puntos y se encuentra con la intersección de ellos en el eje de las abscisas. La tasa correspondiente al punto de intersección será el TIR.

**Figura 103.** Cálculo del TIR



**Fuente:** Autores

El TIR de este proyecto es 21 %. Según la evaluación de proyectos establece que la tasa pasiva máxima para inversiones del sector es 3,5 % y para las privadas es 4,5 % al 5,25 % por lo tanto para este proyecto se considera una tasa TMAR de 3,5 % [44]. Como el TIR es mayor que TMAR entonces el proyecto es rentable.

## 7.9 Cálculo del tiempo de la recuperación de la inversión

El análisis económico también tiene como objetivo determinar el número de años en que se recupera la inversión. Los valores necesarios para el cálculo de dicho tiempo se establece en una amortización de energía vendida de 4 288 618,18 USD y un valor futuro a igualar de 9939950,87 que es el monto total de la inversión.

Aplicando la ecuación se despeja el factor del valor futuro.

$$F = A * \left(\frac{F}{A}, i, n\right) \quad (277)$$

$$20\,835\,783,54 = 3\,386\,880 \text{ USD} \left(\frac{F}{A}, i, n\right)$$

$$\left(\frac{F}{A}, i, n\right) = 6$$

Con lo que se estima que el tiempo de recuperación de la inversión es de 6 años.

Estos resultados indican que el proyecto es factible económicamente y que muestra un margen de beneficios aceptables.



## CAPÍTULO VIII

### 8. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

#### 8.1 Introducción

**8.1.1 Naturaleza y objetivos del PROYECTO [21].** El proyecto consiste en una central de generación de energía eléctrica convencional, en base al aprovechamiento del recurso hídrico presente en la zona, logrando generar una potencia base de 19 MW (4 módulos de 2,5 MW).

**Figura 104.** Constitución y esquema gráfico de una central hidroeléctrica



**Fuente:** FAÚNDEZ GARRIDO, María José, análisis de impactos ambientales, medidas de mitigación, reparación y compensación

Se prevé la conexión eléctrica al Sistema Interconectado de la provincia de Chimborazo y la distribución hacia las zonas circundantes por medio de una Estación Transformadora a construirse en la misma central y el tendido de un Línea de Alta Tensión (LAT).

La Central Hidroeléctrica de la parroquia El Altar, estará ubicada dentro de la jurisdicción de la parroquia El Altar, en un terreno y edificación de propiedad de ésta

## **8.2 Justificación**

Dentro de los últimos años se ha incrementado el consumo de energía que, por falta de un programa de inversiones adecuado a ese crecimiento, ha tenido que ser importada periódicamente.

Bajo este escenario la conformación de una matriz energética distribuida en distintas fuentes de generación, favorece el mantenimiento de una oferta adecuada a un precio razonable.

Pero para la construcción de estos proyectos, se ven afectados la flora y fauna de la zona de influencia, por lo que antes y durante su construcción, se deberá minimizar al máximo porcentaje, los efectos que pudiesen provocar los diversos trabajos a realizar.

## **8.3 Objetivos del estudio.**

- ✓ Realización de un estudio preliminar de Impacto Ambiental.
- ✓ Identificación, valoración de las posibles consecuencias ambientales del mencionado proyecto,
- ✓ Minimizar los impactos ambientales negativos potenciar los positivos con el objeto de mejorar el desempeño ambiental, tomando en consideración la legislación ambiental nacional y provincial.
- ✓ Establecer las medidas cautelares y correctoras que permitan evitar o reducir los impactos ambientales negativos generados

## **8.4 Alcances del estudio preliminar de impacto ambiental [21].**

La elaboración del Estudio Preliminar de Impacto Ambiental se realiza en un todo de acuerdo a los términos siguientes:

- a) *Descripción del proyecto:* En este componente se realizara una síntesis de las principales características del proyecto y obras que constituyen el proyecto, que ayudaran a identificar y realizar un análisis de las acciones susceptibles de generar impactos ambientales.
- b) *Marco legal y normativo:* Constituye una síntesis del contexto legal y normativo del proyecto, definiendo el ámbito de responsabilidades, derechos y obligaciones en el cual se desarrolla el proyecto y los requerimientos ambientales específicos para su habilitación y licenciamiento.
- c) *Línea de base ambiental:* constituye una síntesis diagnóstica ambiental del área de influencia directa e indirecta previa a la implantación del proyecto.
- d) *Identificación y valoración de impactos ambientales:* surge como resultado del análisis de las relaciones causales entre las acciones del proyecto y los factores del medio involucrados.

## **8.5 Justificación del proyecto.**

La incorporación de las energías renovables como una fuente más de abastecimiento energético en la planificación energética general ayuda a que la competitividad económica y social del país ya que cada vez será más significativa la aportación energética de las energías renovables al balance energético nacional en los últimos años, y las indudables ventajas que su uso supone, entre las que cabe mencionar:

- Disminuyen el grado de dependencia de las fuentes de abastecimiento tradicionales no renovables.
- Son la mejor alternativa de generación desde un punto de vista ambiental debido a su reducido impacto desde el punto de vista de emisiones de gases a la atmósfera.
- Suponen el desarrollo de actividades económicas e industriales, con efectos positivos sobre la economía y el empleo.

## **8.6 Proceso metodológico de desarrollo [21].**

Para la realización del estudio de impacto ambiental, se deberá seguir un proceso metodológico, que constara de 2 fases definidas, donde sus resultados serán una herramienta útil para minimizar los posibles efectos que puedan surgir en la construcción de la central hidroeléctrica.

Es recomendable la realización del estudio preliminar de impacto ambiental, el mismo que es el objetivo de este capítulo, en donde se tendrá que cumplir la primera fase del proceso metodológico, para luego proceder analizar sus resultados y completar el estudio ambiental con la realización de la segunda fase.

**8.6.1 Fases y metodología de realización del estudio de impacto ambiental.** En esta parte clasificaremos y definiremos, las acciones a realizar en cada fase de realización del estudio, es decir tendremos:

**8.6.1.1 Primera fase.** En la primera fase procederemos al estudio de los diferentes elementos del medio físico, biológico y socioeconómico así como del paisaje que posee la zona de influencia para luego poder elaborar el Inventario Ambiental. Esta primera fase incluye, además del Inventario Ambiental, la descripción general del área de estudio, la legislación aplicable al proyecto y la descripción del mismo.

La descripción detallada del proyecto, tanto en lo que respecta a las características del mismo como a las principales acciones que conlleva y a la forma de efectuar los trabajos. El análisis del proyecto permite la identificación de los elementos o actividades que son potencialmente impactantes o de aquéllos que puedan suponer un deterioro del entorno.

Paralelamente, se lleva a cabo la identificación, censo, inventario, cuantificación y cartografía de todos los elementos y/o condicionantes ambientales, sociales, legales y

técnicos del área de estudio. La elaboración de un Inventario Ambiental en el que se analicen los medios físico, biológico y socioeconómico y el paisaje constituye la base, junto con la información relativa a las características del proyecto, para la evaluación del impacto ambiental que se pueda producir y para la definición de medidas protectoras y correctoras.

La información recopilada es fundamental a la hora de enmarcar los elementos existentes en la zona y detectar las deficiencias que se completarán con la labor de campo. Previamente a los trabajos de campo, se efectúa una recopilación de la información existente sobre todos los elementos incluidos en el Inventario Ambiental. En base a esta información se planifican las labores de campo, con el fin de completarla y aumentarla hasta el nivel requerido en el Estudio.

**8.6.1.2 Segunda fase.** Esta segunda fase se realizara una vez que se ha concluido y analizado el primer borrador del estudio preliminar de impacto ambiental, para luego realizada la descripción del proyecto y el estudio detallado del medio, poder proceder el análisis de los impactos que la realización d

**8.6.1.3** el proyecto puede generar sobre los diferentes elementos del medio, considerándose tanto la fase de construcción como la de operación.

Para ello se procede, en primer lugar, a la identificación de impactos, para luego realizar la caracterización y valoración de los mismos. Luego se procederá a la realización de acciones a tomar como un plan de contingencia para minimizar los posibles danos a la naturaleza que podrían generarse en el desarrollo del proyecto.

## **8.7 Descripción del proyecto y sus acciones.**

**8.7.1 Situación y accesos.** La ubicación de la Central Hidroeléctrica El Altar, la cual es el objeto del presente estudio preliminar, estaría ubicada en dentro de la jurisdicción de la Parroquia el Altar, en la margen izquierda del río Puela, a unos 2460 msnm.

La casa de máquinas se ubicaría en la posición geográfica  $x=9833242,461$ ;  $y=781699,511$  (coordenadas UTM), sobre un terreno a nivel con características óptimas para la ubicación de los grupos generadores y patio de transformación.

Los accesos que posee esta casa de máquinas es una vía de segundo orden, de lastre, misma que se encuentra en la ruta del Centro Poblado hacia el Centro Turístico “EL OJO DEL FANTASMA”

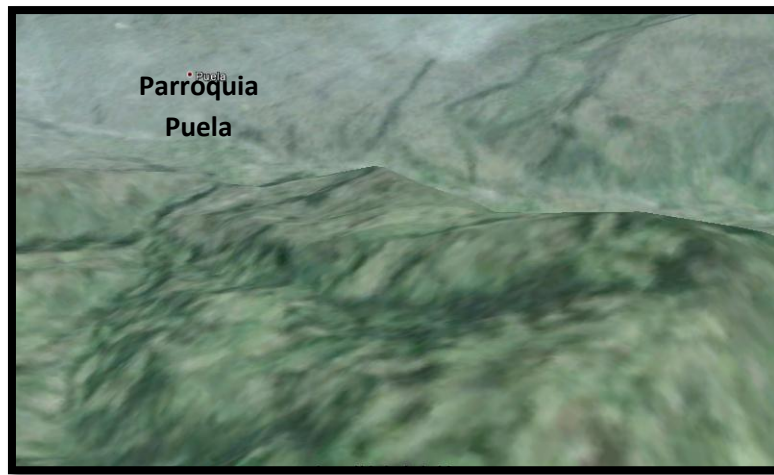
**Figura 105.** Vía de acceso a la zona de casa de máquinas.



**Fuente:** Autores

Las demás obras civiles que se realizarán en el desarrollo de la Central Hidroeléctrica no poseen carreteros de acceso ya que se encuentran en una zona netamente montañosa, por lo que se deberá construirlas y será un factor más a tomar en cuenta en los posibles daños medio ambientales que se pueda causar.

**Figura 106.** Zona de desarrollo del proyecto.



**Fuente:** Autores

**8.7.2 Disposición general adoptada.** Las obras a construirse son de gran volumen, es de mucha importancia que estas ocupen el espacio suficiente y necesario como para no dañar el medio ambiente y el paisaje natural que posee la zona.

Por ello las obras de captación deben ser construidas de tal manera que el espacio físico que ocupen estas, se acoplen perfectamente a la vegetación presente y tratando de captar el caudal máximo posible, pero recordando que se deberá conservar un caudal ecológico para no violentar la flora y fauna aguas abajo del río. El canal de conducción será construido de manera que el trazado, no afecte al paisaje y que los materiales utilizados no se mezclen con los presentes en la zona.

El sistema de presión será diseñado, de forma que el impacto visual que tenga en la zona, sea el mínimo y se adapte perfectamente al relieve presente.

La casa de máquinas ocupará el espacio físico mínimo, tratando de distribuir sus componentes de manera que la relación entre medio ambiente y obras civiles sea proporcional.

**8.7.3 Captación y conducción de agua.** La captación y conducción de agua como se ilustra en la figura 104, en los numerales 1, 2 y 3 son las primeras obras por las que pase el caudal de agua.

La captación de agua se lo realizara con una bocatoma de tipo convencional, la misma que mediante su rejilla de admisión de 11,4 m de longitud y 1 m de ancho captara la cantidad de  $9,75 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El agua pasara hacia la zona de desripeador que ocupara una superficie aproximada de  $310 \text{ m}^2$ , en donde el material pétreo que arrastre el agua será retenido para posteriormente ser desalojado.

El agua procedente del desripeador, pasara hacia un canal de conducción de tipo trapezoidal de 2,48 m de ancho y con un tirante total de 2,81m, que conducirá el caudal de agua hacia un desarenador, en donde su función principal será sedimentar los sólidos en suspensión que tenga el agua de río.

Luego el agua pasara hacia la continuación del canal abierto, durante un tramo aproximado de 70 metros, para luego entrar hacia un segundo tramo de conducción, este será un túnel de tipo baúl, para el cual se deberá escavar un área de  $8,73 \text{ m}^2$ , y que el mismo atravesara toda la zona montañosa presente, en un tramo aproximado de 1729 metros.

A la salida del túnel de conducción, el agua pasara hacia un canal abierto de tipo trapezoidal de similares dimensiones a las del primer tramo de conducción, para recorrer un último y final tramo de conducción de 847 metros de longitud, para desembocar en un tanque de presión.

**8.7.4 Sistema de presión.** Como se observa en la figura 104, el sistema de presión está compuesto por el tanque de carga y la tubería de presión (4 y 5).

El tanque de presión se ubicara sobre los 2624 msnm, en donde para su construcción se utilizara un espacio físico de aproximadamente  $37,7 \text{ m}^2$ , que almacenara la cantidad de agua necesaria hacia la casa de máquinas a través de las tuberías de presión.

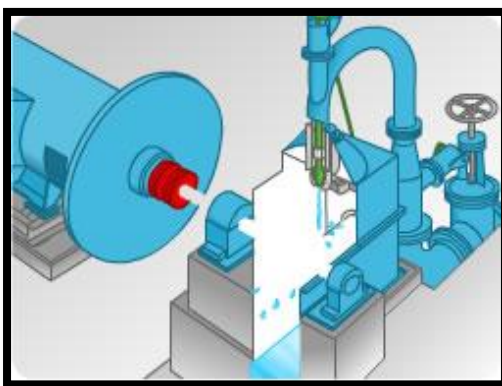


Las tuberías de presión estarán dispuestas de tal manera que se tenga 2 tramos en paralelo, de un diámetro nominal de 56 in de acero ASTM A 36, sujetas por un sistema de apoyos y anclajes en una longitud de 355,76 m en cada tramo.

**8.7.5 Casa de máquinas y patio de transformación.** La central hidroeléctrica se localizara en el margen izquierdo del Río Puela, donde el espacio que se destinó para la construcción de casa de máquinas, patio de transformación, se encuentra a una altura de 2462 m.

El interior de la casa de máquinas de la central, se distribuyen de forma ordenada los equipos electro mecánicos, los mismos que se encontraran dispuestos en 4 grupos de generación, cada uno de ellos compuesto de una turbina Pelton de 5 inyectores con su generador de tipo síncrono, como se muestra en la siguiente figura:

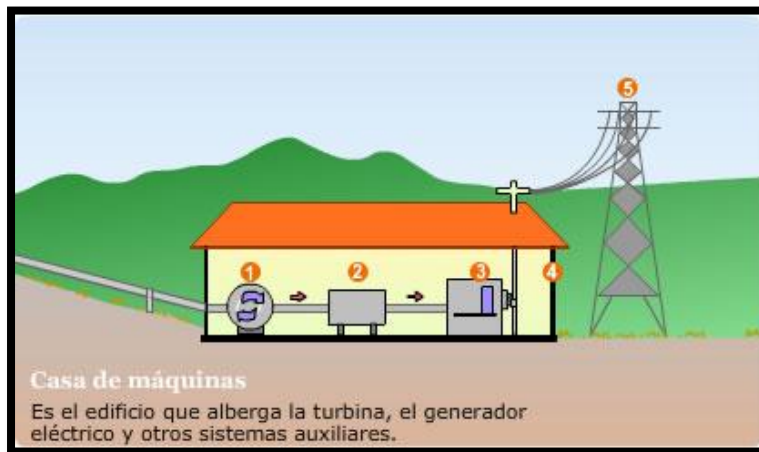
**Figura 107.** Esquema de una turbina Pelton de 5 inyectores con un generador síncrono.



**Fuente:**[http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/turbinas\\_o\\_y\\_m/turbinas\\_o\\_y\\_m.htm](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/turbinas_o_y_m/turbinas_o_y_m.htm).

El patio de transformación se ubicara en el lado posterior de la central, donde se procederá al montaje de los diversos conjuntos eléctricos y sistemas auxiliares como, que ayudaran a que la energía producida llegue hacia los hogares de la zona y se pueda interconectar al anillo eléctrico de la provincia.

**Figura 108.** Esquema de general de la casa de máquinas



**Fuente:**[http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/turbinas\\_o\\_y\\_m/turbinas\\_o\\_y\\_m.htm](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/turbinas_o_y_m/turbinas_o_y_m.htm).

**8.7.6 Desagüe.** La salida de agua de la turbina se realiza a través de un canal en cada equipo generador, los cuales se acoplarán a un canal principal de 20 metros de longitud, ancho de 2,5 m el cual devolverá la totalidad de agua al cauce del río mediante solera de hormigón armado con contra pendiente del 12%.

**8.7.7 Potencia a instalar.** La determinación de la potencia a instalar viene más condicionada por las limitaciones físicas del emplazamiento que por los resultados de los estudios hidrológicos. Así, se ha fijado como valor óptimo para la nueva central una potencia nominal de 10 MW, distribuida en 2,5 MW en 4 grupos generadores.

## **8.8 Legislación aplicable**

Las leyes y reglamentos ambientales que deberán ser aplicados son:

### **8.8.1 *Ley de régimen del sector eléctrico [22]***

#### **CAPITULO I**

##### **DISPOSICIONES FUNDAMENTALES**

- ✓ Art. 1.-Deber del Estado.
- ✓ Art. 2.-Concesiones y Permisos.
- ✓ Art. 3.-Medio Ambiente.

#### **CAPITULO VI**

##### **DE LAS EMPRESAS DE GENERACION, TRANSMISION Y DISTRIBUCION**

- ✓ Art. 29.- De los Nuevos Proyectos de Generación.
- ✓ Art. 30.- Permisos para Generación.
- ✓ Art. 31.- Obligaciones de las Empresas de Generación.

### **8.8.2 *Constitución del Ecuador [22]***

- ✓ Art.3.- Del buen vivir
- ✓ Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.
- ✓ Art. 83.- Deberes y responsabilidades.
- ✓ Art. 276.-Objetivos del régimen de desarrollo.
- ✓ Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales.
- ✓ Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias.
- ✓ Art. 413.-El Estado promoverá la eficiencia energética.

### **8.8.3 Políticas ambientales del Ecuador [22].**

- ✓ Dcto 1802: Políticas Básicas Ambientales del Ecuador que establecen las estrategias para orientar el desarrollo sustentable del país.

### **8.8.4 Otras leyes aplicables [22].**

- ✓ Ley de prevención y control de la contaminación ambiental.
- ✓ Ley de gestión ambiental.
- ✓ Ley orgánica de régimen municipal.
- ✓ Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre.
- ✓ Ley de galápagos.
- ✓ Ley de seguridad alimentaria.
- ✓ Ley orgánica de salud.
- ✓ Nueva ley de minería.
- ✓ Tulas

### **8.8.5 Tratados internacionales [22].**

#### **TEMAS VERDE O ECOLOGICOS**

- ✓ Convenio de diversidad biológica
- ✓ Protocolo de Cartagena
- ✓ Convenio sobre el tráfico ilegal de especies en peligro de extinción (cites)
- ✓ Convenio Ramsar sobre humedales

#### **TEMAS MARRONES.**

- ✓ Convenio marco sobre cambio climático.
- ✓ Protocolo de Kyoto.
- ✓ Convenio de Estocolmo.
- ✓ Convenio de Rotterdam.
- ✓ Convenio de Basilea.
- ✓ Convenio de Viena: Ozono.
- ✓ Protocolo de Montreal.

## **8.9 Área de estudio y descripción ambiental general [23]**

**8.9.1** *Delimitación del área de estudio.* Para el presente estudio preliminar de Impacto Ambiental se ha considerado como principal criterio el incluir la superficie suficiente amplia como para englobar todas las afecciones que se puedan generar en el entorno ambiental.

No obstante, en lo que respecta al estudio detallado se lo realizara una vez concluida la segunda fase de la metodología adoptada anteriormente, es por ello que en este estudio preliminar se identificarán los principales aspectos que podrían afectar a nuestro medio ambiente como son:

- ✓ Hidrología superficial.
- ✓ Cuencas y red de drenaje.
- ✓ Medio biológico.
  - Flora
  - Fauna

**8.9.2** *Descripción ambiental general del entorno del emplazamiento.* Para el análisis del entorno que posee nuestra zona de influencia, procedemos a analizar la carta geológica a escala 1:50.000 proporcionada por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador (Anexo A) en donde se indica que presencia de bosque y vegetación en la mayoría de la zona de influencia.

Se observa pequeñas zonas de pastizales y una zona montañosa que presumiblemente será de roca.

No se observa la presencia de asentamientos de comunidades de personas, por lo que no existiría ningún daño hacia la etnografía de la zona.

## **8.10 Inventario ambiental preliminar.**

**8.10.1 Hidrología superficial.** La zona de influencia cuenta con un potencial hidrológico importante, ya que en su periferia cuenta con pequeños riachuelos que alimentan el caudal del río Puela.

Es por ello que si observamos en el Anexo 4.1, se constata que la unión de los ríos Chorreras, Siete Vueltas y Naranjal, forman el cauce del Río Puela, el mismo que será la base central de nuestro sistema hidrológico.

Además se observa la presencia de ríos secundarios y riachuelos provenientes de quebradas que desembocan a lo largo del río Puela, estos son:

- Río Sigsal
- Río Las Flautas
- Río El Laurel
- Río Quinoaqui.
- Río Palitahua.

**8.10.2 Medio biológico.** Es importante realizar un análisis previo de las especies de vegetación, plantas nativas y habitaad presentes en la zona, con el fin de tener un inventario preliminar y determinar si encontraremos especies en peligro de extinción.

Se debe realizar la codificación de especies presentes en la zona y con ello lograr el nivel de detalle exigido por las indicaciones del Ministerio de Medio Ambiente en cuanto al alcance del proyecto definitivo de Estudio de Impacto Ambiental.

Mediante visitas de campo y recopilación de información por parte de los pobladores de la zona, se ha elaborado la siguiente tabla informativa clasificando en zonas en las que se encontraron diferentes especies:

*a) Zona de quebradas y ríos.*

**Tabla 79.** Especies de flora presentes en las zonas de ríos y quebradas.

Nombre común	Nombre científico	Tipo de vegetación		
		Arbórea	Arbustiva	Herbácea
Aliso	Alnus acuminata H.B.K.	X		
Berro				x
Zapan		X		
Kikuyo				x
Colca	Miconia quitensis		X	x
Olivo		X		
Suro			X	
Muco quiro	Piper sp.	X		
Sandalla		X		
Kive			X	
Pumamaqui	Oreopanax	X		

Drago		X		
Sigse			X	
Chilca	Bracchiaris Sp.		X	x
Trinitaria				x
Cedro		X		
Shanshi			X	
Dana		X		
Menta				x
Laurel	Laurus mobilis	X		
Zapatito				
Canelo	Drinvs granatensis	X		
Yerba buena				x
Poleo (tipo)				x
Pulala				x
Lengua de vaca				x
Tabalbo		X		
Sangre de drago		X		
Tocte		X		
Caballo chupa				x
Negrillo	Tournefortia fuliginosa	X	X	
Bodoque		X	X	
Gualicon	Maclenia	X	X	



Mortiño Bajo				x
Mora Silvestre			X	
Uña de Gato				
Culantrillo				x
Llanten				x
Moradilla				x
Taraxaco	Taraxacum officinalis			x
Poxe			X	
Sauco			X	
Paja blanca				x
Timbo (paja)			X	
Achupalla				x
Chulco				x
Simbalo			X	
Carrizo			X	
Barba de tigre				x
Helecho				x
Turoaliso		X		
Achin				x
Caucho		X		
Totorilla				x
Maigua				x
Musgo				x
Tunda			X	

Taxo de monte			X	
Eucalipto		X		
Pino	Pinus radiata	X		
Pasto flor blanca				x
Atuxara			X	
Arrayan	Eugenia myrtiloides	X		
Guishmo	Weinmannia glabra	X		
Tarqui	Cayodendron orinocense	X		
Guishcas	Stylocerus laurifolium	X		
Quishuar	Buddleja incana	X		
Chigmay	Ilex Sp.	X		
Jigueron		X		
Pujin	Hesperomeles glabrata	X		
Samal	Rapanea andina	X		
Gualumo			X	
Quino		X		
Palma	Oredosea frígida	X		
Padguaso	Gaiadendron punctatum	X		

Sacha capulí		X		
Sagalejo		X		
Ortiguilla				x
Sauco			X	
Iso			X	
Diente de león				x
<b>Número total de especies reportadas</b>		82 especies		

**Fuente:** Gad de la parroquia “el altar”, plan de ordenamiento territorial

*b) Zona de productivas.*

**Tabla 80.** Especies de flora presentes en las zonas de producción.

Nombre común	Nombre científico	Tipo de vegetación		
		Arbórea	Arbustiva	Herbácea
Ocas				x
Tomate de árbol		X		
Mora			X	
Babaco			X	
Manzana		X		
Pera		X		
Durazno		X		
Claudia		X		
Capulí		X		
Nuez		X		
Nogal		X		

Aguacate		X		
Limón		X		
Taxo			X	
Granadilla			X	
Cebolla blanca				x
Alverja				x
Meloco				x
Papas				x
Maíz			X	
Frejol				x
Habas				x
Zapallo				x
Zambo				x
Chochos			X	
Guaba		X		
Uva				
Mirabel		X		
Pepino				x
Tomate de carne				x
Membrillo		X		
Higo		X		
Frutilla				x
Uvilla				x
Zanahoria				x
<b>Número total de especies reportadas</b>		37 especies		

**Fuente:** Fuente: Gad de la parroquia “El Altar”, plan de ordenamiento territorial

c) Zona de bosque

**Tabla 81.** Especies de flora presentes en las zonas de bosque.

Nombre común	Nombre científico	Tipo de vegetación		
		Arbórea	Arbustiva	Herbácea
<b>Eucalipto</b>	Eucalyptus camaldulensis	X		
<b>Pino</b>	Pinus radiata	X		
<b>Aliso</b>	Agnus jorulliensis	X		
<b>Quishuar</b>	Buddleja incana		X	
<b>Cedro</b>	Cedrela odorata	X		
<b>Cipres</b>	Ceroxylon spp.	X		
<b>Guishmo</b>			X	
<b>Canelo</b>	Drinvs granatensis		X	
<b>Pumamaqui</b>	Oreopanax ecuadorensis		X	
<b>Nogal</b>	Cupania vernalis	X		
<b>Polylepis</b>	Polylepis besseri		X	
<b>Chachacoma</b>	Escallonia myrtilloides	X		

<b>°Número total de especies reportadas</b>	12 especies
---	-------------

**Fuente:** Gad de la parroquia “El Altar”, plan de ordenamiento territorial

**8.10.3 Fauna.** La fauna de la zona objeto de estudio, está condicionada por una serie de factores clave que definen la distribución y abundancia de las especies.

Por una parte las formaciones vegetales son muy diversas pues encontramos especies propias la región, ya que el área de estudio se encuentra entre regiones biogeográficas, lo que proporciona una gran variedad de ambientes en un reducido espacio.

Por otra parte, la orografía es extraordinariamente abrupta, con laderas en diversas orientaciones lo que incrementa aún más la diversidad y los ambientes, pues las condiciones son netamente diferentes en zonas con muy poca distancia de separación. El hecho de que el área de estudio sea muy abrupta dificulta la explotación del terreno para usos humanos estando estos, por lo tanto, limitados a usos forestales y, en menor medida se localiza alguna aldea de pequeño tamaño con limitadas áreas de cultivo.

Entonces realizando un censo mediante las visitas de campo e investigando a los pobladores de la zona, se llegó a elaborar la tabla en donde mostramos las diversas especies de fauna que encontramos en zonas determinadas:

*a) Zona de quebradas y ríos.*

**Tabla 82.** Especies de fauna presentes en las zonas de ríos y quebradas.

Nombre común	Nombre científico	Tipo				Abundancia		
		Mamíferos	Aves	Reptiles y anfibios	Peces	Pocos	Frecuentes	Muchos
Trucha	Salmo trutta							
Sapo	Bufobufo			x		x		
Lagartija	Analís sp.			x		x		

Cullan	Urocyon cinéreo argenteus			x		x		
Culebra	Oxyrhopus rhombifer			x		x		
Timbul	Abies							
Golondrina	Progne modesta							
Torcasa	Tarquaceus		x					x
Tortola	Streptopelia		x					x
Colibrí	Oreothochilus stella							
Mirlos	Thurdus sp		x					x
Gorriones	Padda oryzivora		x					x
Chucuri	Mustela frenata	x				x		
Azulejos	Cyanolycaturc os		x			x		
Chiva de monte	Bubalus bubalis							
Guarro	Geranoactus malanoleucus		x			x		
Rana	Agalychnis litodryas							
Preñadilla	Merluccius							
Chirote	Chirote							
Raposa	Marmosa robinsoni	x				x		
Tordo	Turdus philomelos		x			x		

Jilguero	Carduelis carduelis		x			x		
Cebadero	Tangara cabeciazul		x			x		
Mauro	Priodontes maximus		x			x		
Wetse						x		
Perdis	Alectoris rufa		x			x		
Torero	Elanoides forficatus		x			x		
Cusumbo	Patos flavus							
Cuy de monte	Cuniculus taczanowskii							
Predicador	Phoenicapterus ruber							
Carpintero	Calaptes melanochloros							
<b>Número total de especies reportadas</b>		19 especies						

**Fuente:** Gad de la parroquia “El Altar”, plan de ordenamiento territorial

*b) Zona de productivas.*

**Tabla 83.** Especies de fauna presentes en las zonas productivas.

Nombre común	Nombre científico	Tipo				Abundancia		
		Mamíferos	Aves	Reptiles y anfibios	Peces	Poco	Frecuente	Mucho



<b>Paloma</b>	Otidiphaps nobilis		x			x		
<b>Cuyes</b>	Cavia porcellus	X						x
<b>Gallinas</b>	Gallusintroducida		x					x
<b>Ovejas</b>	Ovis ariesintroducida	x						x
<b>Burro</b>	Equus asinus	x						x
<b>Caballo</b>	Equus ferus	x						x
<b>Conejo</b>	Oryctolagus	x						x
<b>Pato</b>	Amasplaty Rhynchos		x					x
<b>Número total de especies reportadas</b>		8 especies						

**Fuente:** Gad de la parroquia “El Altar”, plan de ordenamiento territorial

c) *Zona de bosque.*

**Tabla 84.** Especies de fauna presentes en las zonas de bosque.

Nombre común	Nombre científico	Tipo				Abundancia		
		Mamíferos	Aves	Reptiles y anfibios	Peces	Poco	Frecuente	Mucho
<b>Torcaza</b>	Zenaida auriculata		x			x		
<b>Guarro</b>	Geranoactus melanoleucus		x			x		
<b>Tortola</b>	Streptopelia risoria		x				x	
<b>Gavilan</b>	Parabuteo unicinctus		x			x		

<b>Número total de especies reportadas</b>	4 especies
--	------------

**Fuente:** Gad de la parroquia “El Altar”, plan de ordenamiento territorial

### 8.11 Identificación y valoración de impactos ambientales.

Es necesario definir que los grandes proyectos, como la construcción de Centrales Hidroeléctricas, pueden generar múltiples impactos ambientales que difieren en su intensidad, extensión, duración, etc, si no se aplica un plan organizado de prevención de los mismos.

Es por ello que con el fin de establecer las estrategias y medidas para la gestión ambiental de un proyecto, se han identificado los posibles impactos se del proyecto (construcción, operación) y en relación a los distintos componentes y/o acciones implícitas en el mismo; y posteriormente se han caracterizado y jerarquizado según su importancia o criticidad.

Siendo necesario un cuadro de los posibles impactos que se podrían generar en la ejecución de la obra:

#### a) Etapa de construcción.

**Tabla 85.** Reconocimiento de impactos ambientales en la fase de construcción.

IMPACTOS	POSITIVOS	NEGATIVOS
Contaminación		Incremento de contaminación acústica por construcción de central e incremento de emisión de gases de efecto invernadero en el aire por tráfico de camiones, además de incremento en

		la emisión de partículas en suspensión por la circulación de los mismos.
Fauna		Interrupción por tala e inundación, en la vida de un gran número de animales, desproviniéndolos de su hábitat natural.
Medio Humano	Activación temporal de la economía local por la compra de bienes y servicios, además de incremento en la oferta de empleos.	Cambios en la calidad de vida de las personas, disminuyendo la tranquilidad y serenidad características del lugar. Además deterioro en la calidad del paisaje.
Flora		Inundación y tala de bosque nativo, remoción de ejemplares de flora en el roce, despeje de terrenos en la zona de obras y la construcción del embalse.
Hidrología		Cambios drásticos en la morfología del cauce y la calidad de sus aguas,

		variación en la cantidad y velocidad del flujo.
Tenencia de tierras		Afectación a la tenencia de tierras de propietarios de la zona, pérdida de viviendas rurales y predios.

**Fuente:** Gad de la parroquia “El Altar”, plan de ordenamiento territorial

**b) Etapa de operación.**

**Tabla 86.** Reconocimiento de impactos ambientales en la fase de operación.

IMPACTOS	POSITIVOS	NEGATIVOS
Fauna		Pérdida y perturbación en la fauna acuática, por desviación y secado de un tramo del río.
Contaminación		Incremento de contaminación acústica por construcción de central e incremento de material en suspensión y emisión de gases de efecto invernadero por tráfico de camiones.

**Fuente:** Gad de la parroquia “El Altar”, plan de ordenamiento territorial

**8.12** *Plan de compensación mitigación y reparación para los efectos negativos.* Ahora los impactos descritos anteriormente deben contemplar medidas de mitigación, reparación o compensación, para evitar que los efectos que se produzcan sean los menores posibles, es por ello que se planteara lo siguiente:

**a)** *Uso de suelo:*

- ✓ Pérdida de suelos (de uso forestal, ganadero o agrícola).

*Medidas de compensación:* La pérdida de suelo por construcción de obras civiles se verá compensada parcialmente con la recuperación de suelos degradados con la construcción de zonas de la reforestación.

**b)** *Flora*

- ✓ Remoción de flora nativa en el roce y despeje de terrenos en la zona de obras.

*Medidas de compensación:* Se reforestará con árboles nativos una zona equivalente a la superficie de bosque cortado en la zona de obras.

*Medidas de mitigación:* Se despejará el área estrictamente necesaria para la ejecución de las obras, dejando en pie los individuos que no obstaculicen el tránsito o que no se encuentren en una zona a ocupar por infraestructura.

**c)** *Fauna terrestre*

- ✓ Pérdida de hábitat para la fauna terrestre por el corte de bosque nativo y terrenos que sirven de alimento de algunas especies.

*Medidas de compensación:* Generación de hábitat para la fauna asociada al ambiente de bosque en los nuevos bosques que se crearán producto de la reforestación.

*Medidas de mitigación:* Durante el roce y remoción de vegetación se organizará el movimiento de maquinarias y de los frentes de corta, de manera de permitir el tránsito libre (huida) de los animales a otros sectores vegetados. Esto se logra evitando la corta o roce simultáneo en dos sectores de un mismo fragmento o hábitat.

- ✓ Perturbación de la fauna por presencia antrópica en la etapa de construcción.

*Medidas de mitigación:* Las empresas constructoras deberán dar instrucciones a sus trabajadores, sobre la prohibición de cazar o capturar ejemplares de fauna silvestre, levantar nidos, destruir madrigueras y realizar cualquier acción que perturbe innecesariamente a la fauna y prohibición hacia los trabajadores a que se desplacen a lugares ajenos a la obra.

*d) Flora y fauna acuática*

- ✓ Alteración del hábitat acuático por disminución de caudal aguas debajo de la presa durante el llenado del embalse.

*Medidas de mitigación:* Mantención de un caudal ecológico mínimo turbinable que sera del 10% del caudal promedio anual.

*Medidas de reparación:* Rescate y relocalización de ejemplares de fauna acuática atrapados en pozas.

*e) Medio humano*

- ✓ Afectación de la tenencia de tierra a propietarios por reducción de parte de la propiedad, por emplazamiento de obras, camino de acceso.

*Medidas de compensación:* Compensación económica mediante la compra de terrenos de al precios razonables y sobre todo que vayan de acuerdo a la ley que rige en el país.

*f) Suelos*

- ✓ Compactación, erosión y pérdida de suelo en la zona de obras.

*Medidas de mitigación:* Para no perder el suelo orgánico en su totalidad, parte de éste será acopiado para ser ocupado en restitución y rehabilitación de la zona de obras una vez terminada la etapa de construcción.

*Medidas de recuperación:* Descompactación de los suelos afectados por las obras temporales y faenas mediante métodos mecánicos (arado) y por la revegetación al

finalizar la etapa de construcción. Reposición de suelos orgánicos acopiados desde el inicio de la construcción de la central.

*Medidas de mitigación:* Será reforestada una superficie equivalente a los suelos con cubierta forestal de la zona de obras, disminuyendo la erosión existente en las zonas a reforestar.

*g) Calidad del aire*

- ✓ Emisión de material particulado y gases de combustión por transporte de materiales y emisión de carbono por forestación.

*Medidas de mitigación:* El transporte de materiales se efectuará en camiones con la sección de carga tapada. Durante el verano (o en días con suelo seco) se humedecerán los caminos, donde transitan los camiones, mediante supresores de polvo (solución salina de Cloruro de Calcio, sustancia no peligrosa ni toxica). Se circulará a baja velocidad en caminos de tierra. Los vehículos y maquinaria serán mantenidos periódicamente para evitar que sus motores provoquen emisiones de gases de combustión por sobre lo aceptado por las revisiones técnicas.

*Medidas de compensación:* Captación de carbono por la reforestación.

*h) Ruido*

- ✓ Generación de ruido en la etapa de construcción y operación, en diferentes medidas.

*Medidas de mitigación:* Se evitará el movimiento innecesario de maquinaria pesada y camiones. Periódicamente se realizará mantención mecánica a la maquinaria. Los trabajadores usarán protecciones auditivas en eventos y lugares de alta generación de ruido.

*i) Calidad del paisaje*

- ✓ Deterioro en la calidad del paisaje

*Medidas de reparación:* Al término de las tareas de construcción, se realizará una limpieza y restauración general del lugar, además de revegetar las zonas que queden despejadas. Estas acciones, si bien no devolverán la condición inicial al paisaje, mejorarán su calidad al máximo posible.

*Medidas de compensación:* La reforestación favorecerá la mejora de la calidad del paisaje en el área donde se efectúe la compensación.



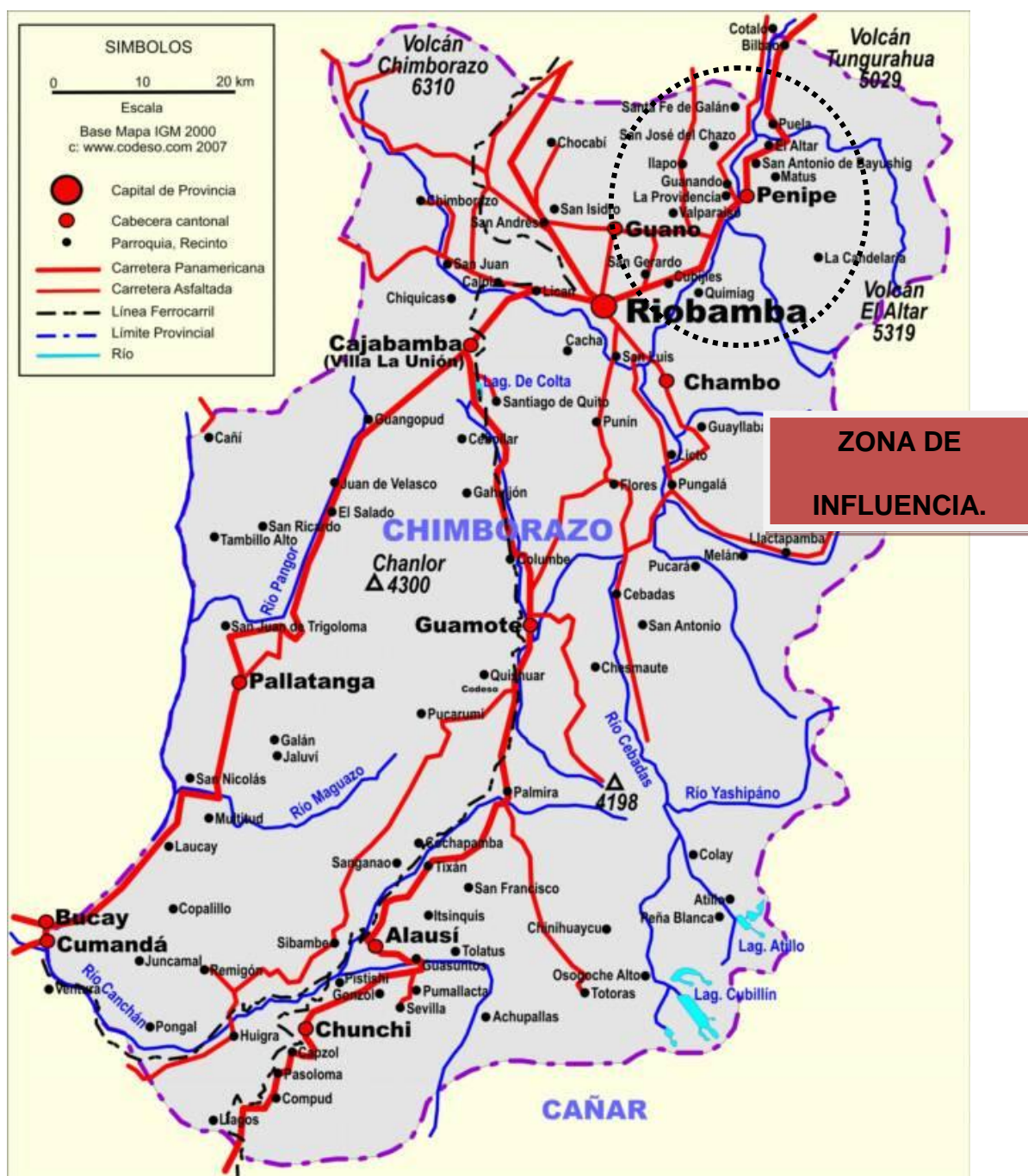
**ANEXOS**

## **ANEXO A**

**CARTA GEOGRÁFICA DE LA ZONA (IGME).**

## ANEXO B

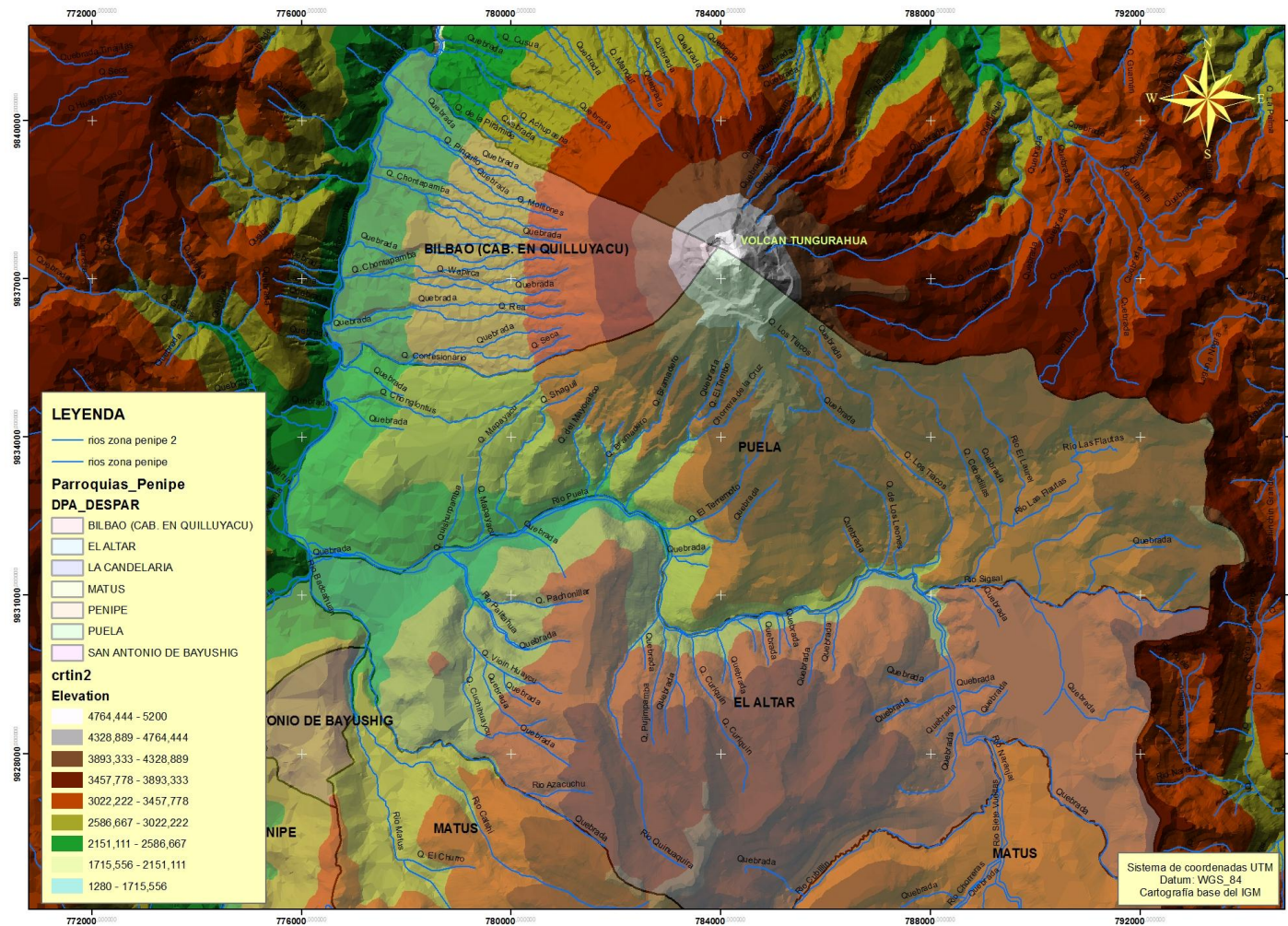
### MAPA VIAL DE LA ZONA DE INFLUENCIA [27].





## ANEXO C

### ZONA GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE INFLUENCIA [2].



**ANEXOS D**

**ESTUDIO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA DE INFLUENCIA.**

**ELABORADO POR EL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE  
LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

## ANEXOS E

### FACTORES DE FORMA DE CORONAMIENTO PARA DISTINTAS FORMAS DE VERTEDEROS.

Vertederos de cresta gruesa de cantos vivos



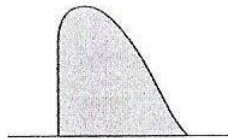
$$M=0.49-0.51$$

Vertederos de cresta gruesa de cantos redondeados



$$M=0.50-0.55$$

Vertederos redondeados



$$M=0.70-0.75$$

Vertederos en forma de tejado



$$M=0.79$$

## **ANEXO F**

### **COORDENADAS GENERALES DEL PERFIL DE CREAGER.**

<b>X</b>	<b>Y</b>
0	0,126
0,1	0,036
0,2	0,007
0,3	0
0,4	0,007
0,5	0,027
0,6	0,063
0,7	0,103
0,8	0,153
0,9	0,206
1	0,267
1,1	0,355
1,2	0,41
1,3	0,497
1,4	0,591
1,5	0,693
1,6	0,8
1,7	0,918
1,8	1,041
1,9	1,172
2	1,31
2,1	1,456
2,2	1,609



## ANEXO G

### COORDENADAS DEL PERFIL DE CREAGER DEL AZUD.

X	Y
0	-0,06426
0,051	-0,01836
0,102	-0,00357
0,153	0
0,204	-0,00357
0,255	-0,01377
0,306	-0,03213
0,357	-0,05253
0,408	-0,07803
0,459	-0,10506
0,51	-0,13617
0,561	-0,18105
0,612	-0,2091
0,663	-0,25347
0,714	-0,30141
0,765	-0,35343
0,816	-0,408
0,867	-0,46818
0,918	-0,53091
0,969	-0,59772
1,02	-0,6681
1,071	-0,74256
1,122	-0,82059
1,173	-0,90219
1,224	-0,98736
1,275	-1,07661

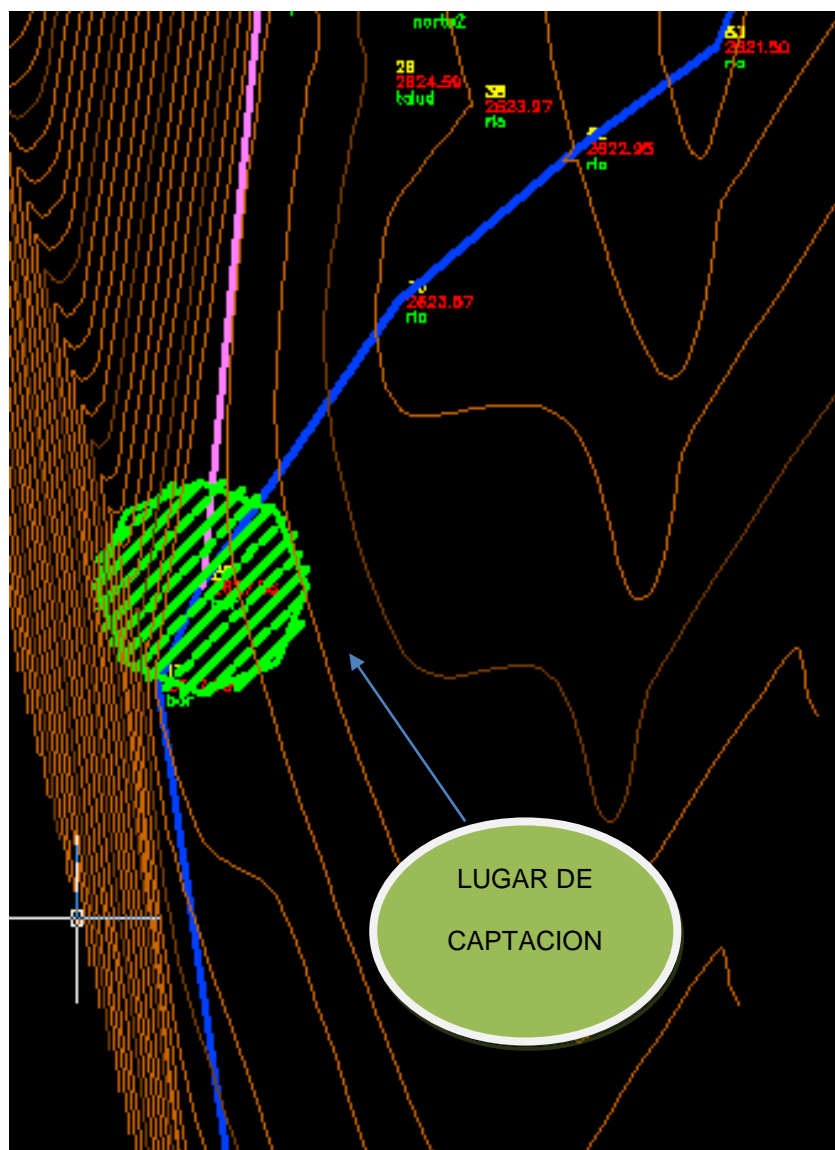
## ANEXO H

### TABLA DE RELACIÓN A/HE EL DISEÑO DE COMPUERTAS.

<b>a/H</b>	<b>e</b>
0,00	0,611
0,10	0,615
0,15	0,618
0,20	0,62
0,25	0,622
0,30	0,625
0,35	0,628
0,40	0,63
0,45	0,638
0,50	0,645
0,55	0,65
0,60	0,66
0,65	0,67
0,70	0,69
0,75	0,705
0,80	0,72
0,85	0,745
0,90	0,78
0,95	0,835
1,00	1

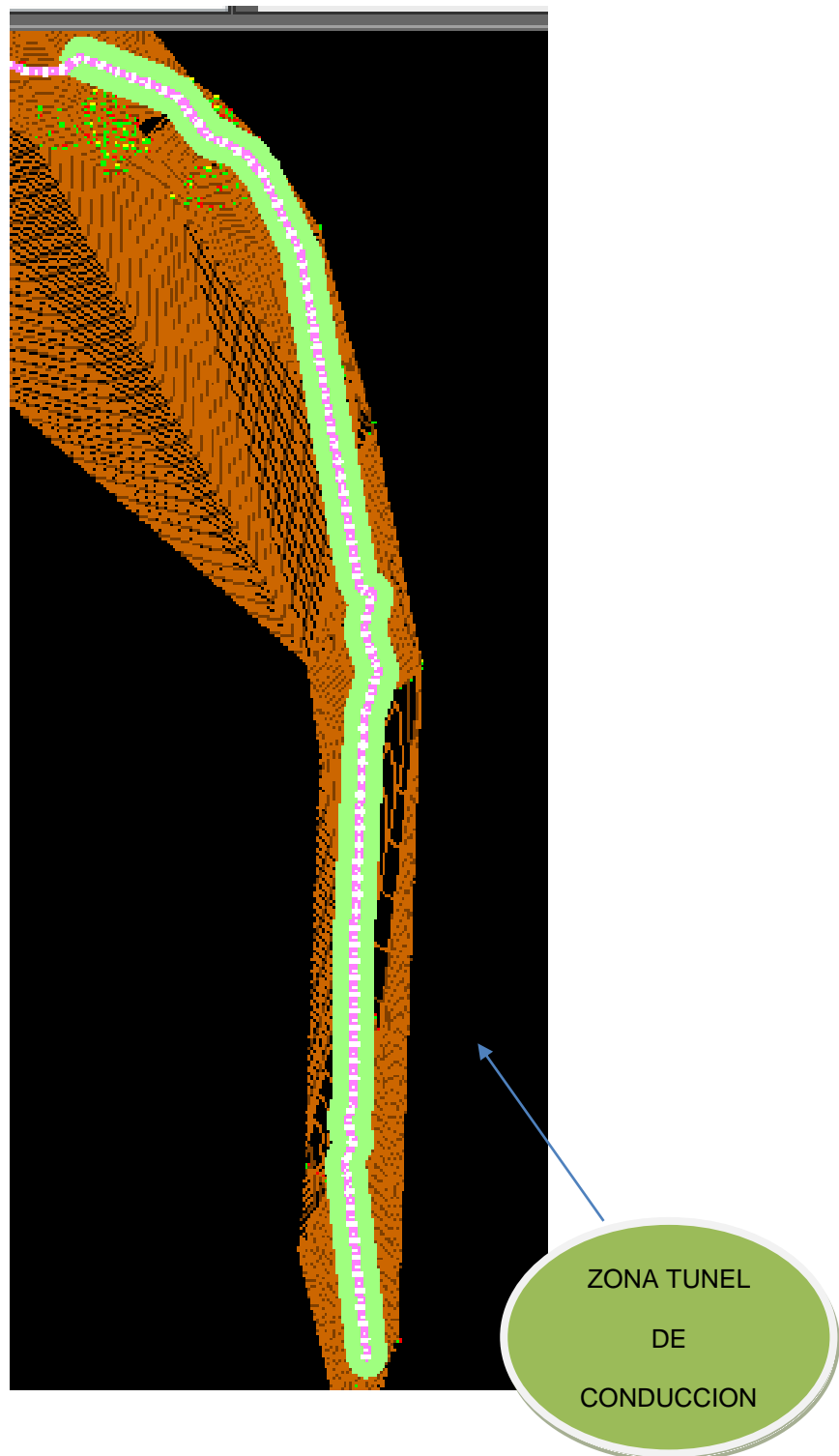
## ANEXO I

### LUGAR DE CAPTACIÓN SEGÚN ESTUDIO PLANIMÉTRICO.



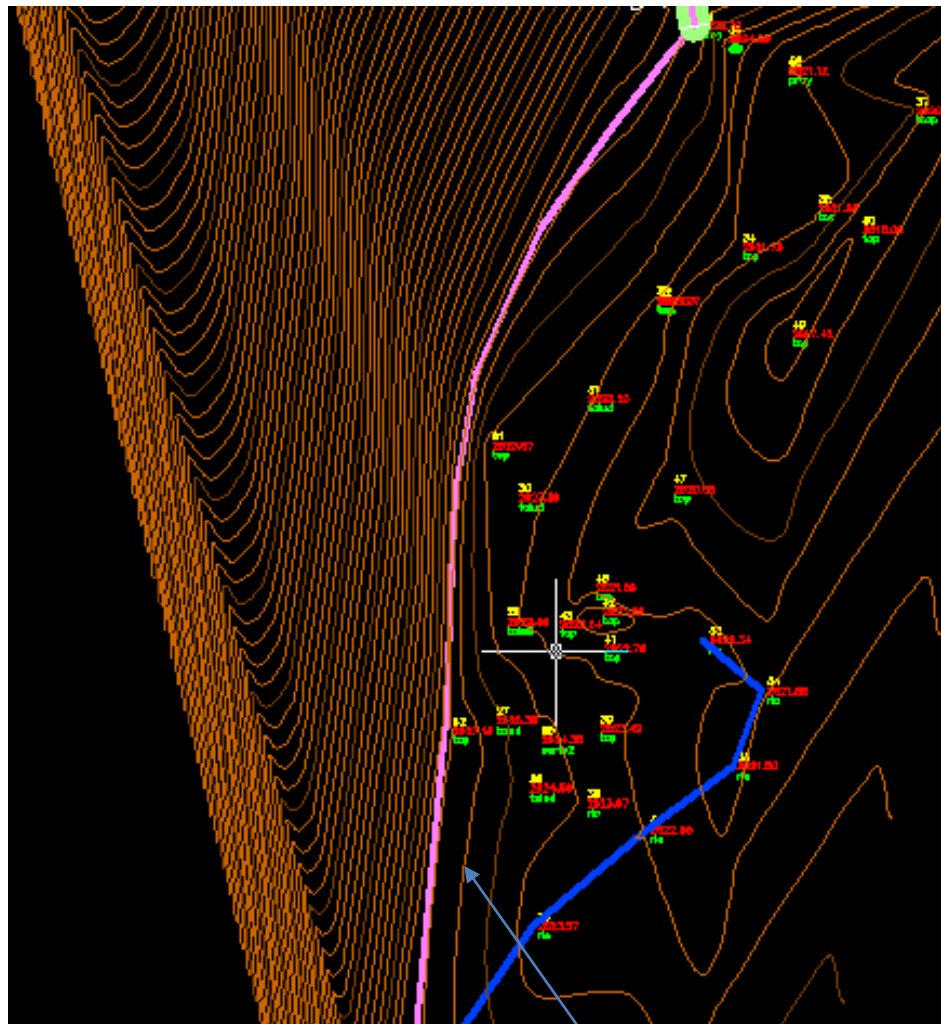
## ANEXO J

### GEOGRAFÍA DE LA ZONA PARA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE CONDUCCIÓN.



## ANEXO K

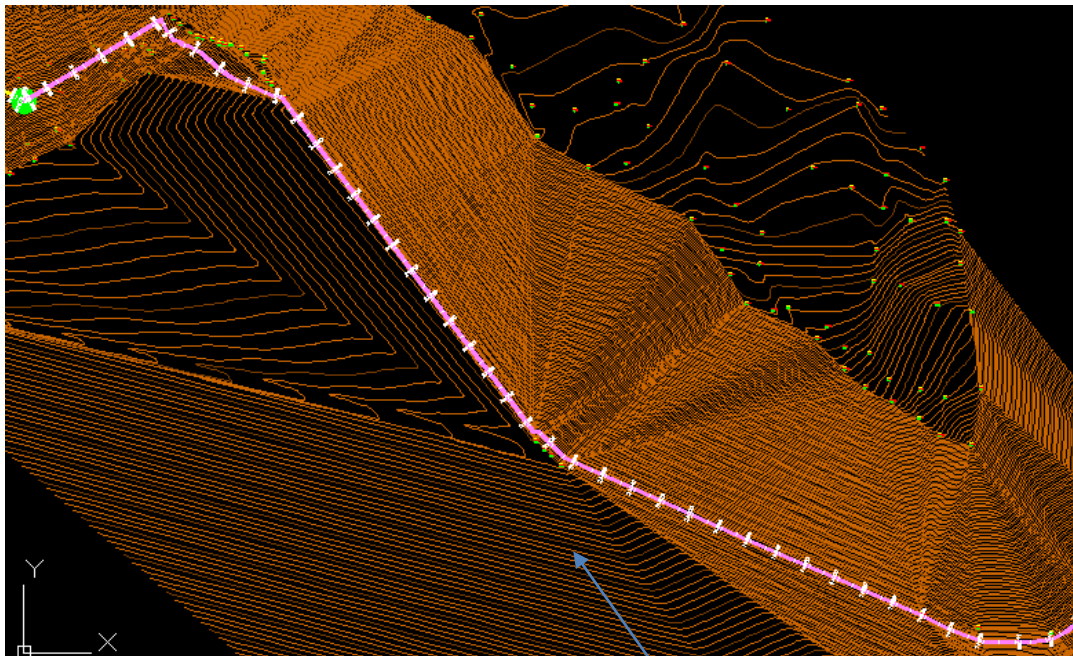
### GEOGRAFÍA DE LA ZONA PARA CONSTRUCCIÓN DE UN CANAL DE CONDUCCIÓN EN EL TRAMO 1.



ZONA 1 DE  
CANAL DE  
CONDUCCION

## ANEXO L

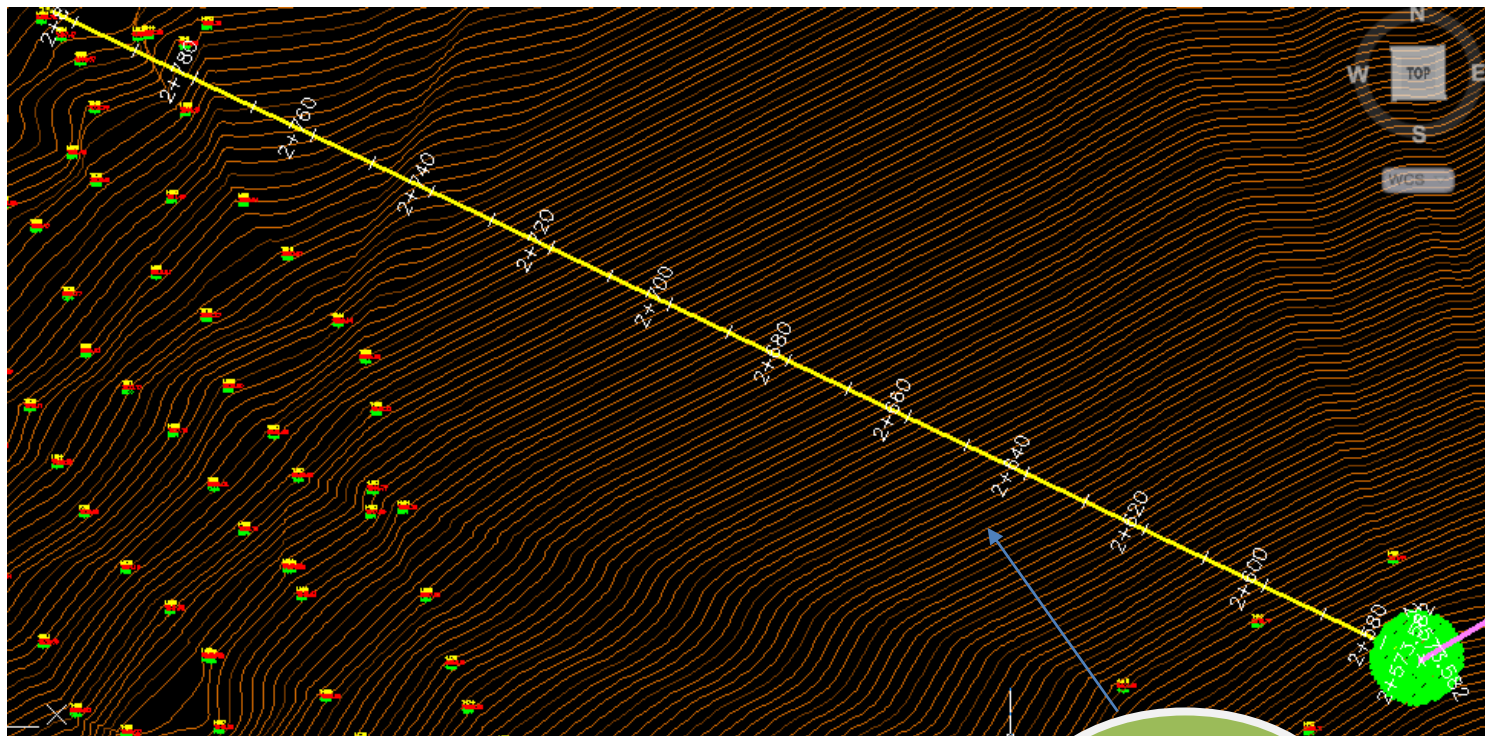
### GEOGRAFÍA DE LA ZONA PARA CONSTRUCCIÓN DE UN CANAL DE CONDUCCIÓN EN EL TRAMO 3.



ZONA 3 DE  
CANAL DE  
CONDUCCION

## ANEXO M

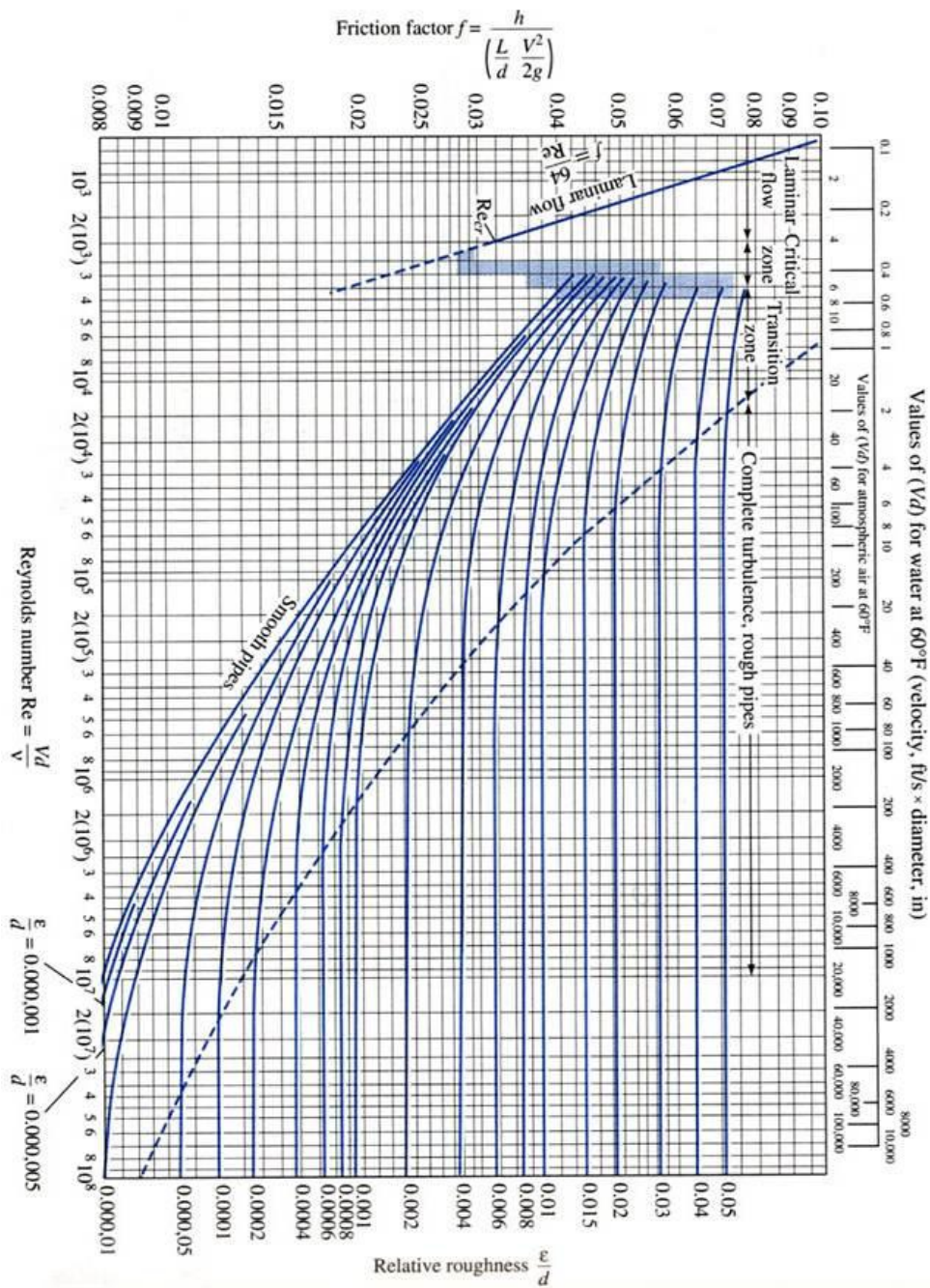
### GEOGRAFÍA DE LA ZONA DEL SISTEMA DE PRESIÓN.



ZONA SISTEMA  
DE PRESION

## ANEXO N

### DIAGRAMA DE MODDY.





## ANEXO O

### PROPIEDADES DEL AGUA.

Temperatura del Agua t [°C]	Presión de Saturación p' [bar abs]	Volumen Específico v x (10) <sup>3</sup> [dm <sup>3</sup> /kg]	Densidad ρ [kg/m <sup>3</sup> ]
0,01	0,006112	1,0002	999,8
5	0,008719	1,0001	999,9
10	0,012271	1,0003	999,7
15	0,017041	1,001	999
20	0,023368	1,0018	998,2
25	0,031663	1,003	997
30	0,042418	1,0044	995,6
35	0,056217	1,006	994
40	0,07375	1,0079	992,2
45	0,09582	1,0099	990,2
50	0,12335	1,0121	988
55	0,1574	1,0145	985,7
60	0,19919	1,0171	983,2
65	0,25008	1,0199	980,5
70	0,3116	1,0228	977,7
75	0,38547	1,0258	974,8
80	0,47359	1,029	971,8
85	0,57803	1,0324	968,6
90	0,70109	1,0359	965,3
95	0,84526	1,0396	961,9
100	1,01325	1,0435	958,3
110	1,4326	1,0515	951
120	1,9853	1,0603	943,1
130	2,7012	1,0697	934,8
140	3,6136	1,0798	926,1
150	4,7597	1,0906	916,9
160	6,1805	1,1021	907,4
170	7,9203	1,1144	897,3
180	10,0271	1,1275	886,9
190	12,552	1,1415	876
200	15,551	1,1565	864,7
225	25,504	1,1992	833,9
250	39,776	1,2512	799,2
275	59,49	1,3168	759,4
300	85,92	1,4036	712,5
325	120,57	1,5289	654,1
350	165,37	1,741	574,4
374,15	221,2	3,17	315,5

## ANEXO P

### COEFICIENTE DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS POR ENTRADA DE TUBERÍA.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kN/m <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m <sup>2</sup> )
0	9,805	999,8	$1,98 \cdot 10^6$	$1,781 \cdot 10^{-3}$	$1,785 \cdot 10^{-6}$	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	$2,05 \cdot 10^6$	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$1,519 \cdot 10^{-6}$	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	$2,10 \cdot 10^6$	$1,307 \cdot 10^{-3}$	$1,306 \cdot 10^{-6}$	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	$2,15 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	$2,17 \cdot 10^6$	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	$2,22 \cdot 10^6$	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	$2,25 \cdot 10^6$	$0,708 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,653 \cdot 10^{-3}$	$0,658 \cdot 10^{-6}$	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	$2,29 \cdot 10^6$	$0,547 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-6}$	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,466 \cdot 10^{-3}$	$0,474 \cdot 10^{-6}$	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	$2,25 \cdot 10^6$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	$0,413 \cdot 10^{-6}$	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	$2,20 \cdot 10^6$	$0,354 \cdot 10^{-3}$	$0,364 \cdot 10^{-6}$	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	$2,14 \cdot 10^6$	$0,315 \cdot 10^{-3}$	$0,326 \cdot 10^{-6}$	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	$2,07 \cdot 10^6$	$0,282 \cdot 10^{-3}$	$0,294 \cdot 10^{-6}$	0,0589	101,33

## ANEXO Q

### TABLA DE VELOCIDADES DE SEDIMENTOS SEGÚN EL DIÁMETRO DE LA PARTÍCULA.

d [mm]	Vs [m/s]
0,05	0,178
0,10	0,692
0,15	1,560
0,20	2,160
0,25	2,700
0,30	3,240
0,35	3,780
0,40	4,320
0,45	4,860
0,50	5,400
0,55	5,940
0,60	6,480
0,70	7,320
0,80	8,070
1,00	9,440
2,00	15,390
3,00	19,250
5,00	24,900

## ANEXO R

### TABLA DE DENSIDADES DE LOS MATERIALES (ARENA).

GRUPO DE MATERIALES	DENSIDAD (PESO/VOLUMEN)*	DENSIDAD MATERIAL COMPACTADO
ARENAS LAVADAS	de 1550 a 1600 Kg/m3	
ARENA G 0/3	de 1500 a 1550 Kg/m3	
MEZCLAS	de 1600 a 1700 Kg/m3	
SABLÓ CRIBADO G 0/6	de 1450 a 1500 Kg/m3	de 2000 a 2100 Kg/m3
ZAHORRA Z 25	de 1600 a 1700 Kg/m3	de 2160 a 2200 Kg/m3
GRAVILLAS	de 1500 a 1550 Kg/m3	de 1500 a 1550 Kg/m3
GRAVA 30/60	1450 Kg/m3	1450 Kg/m3

## ANEXO S

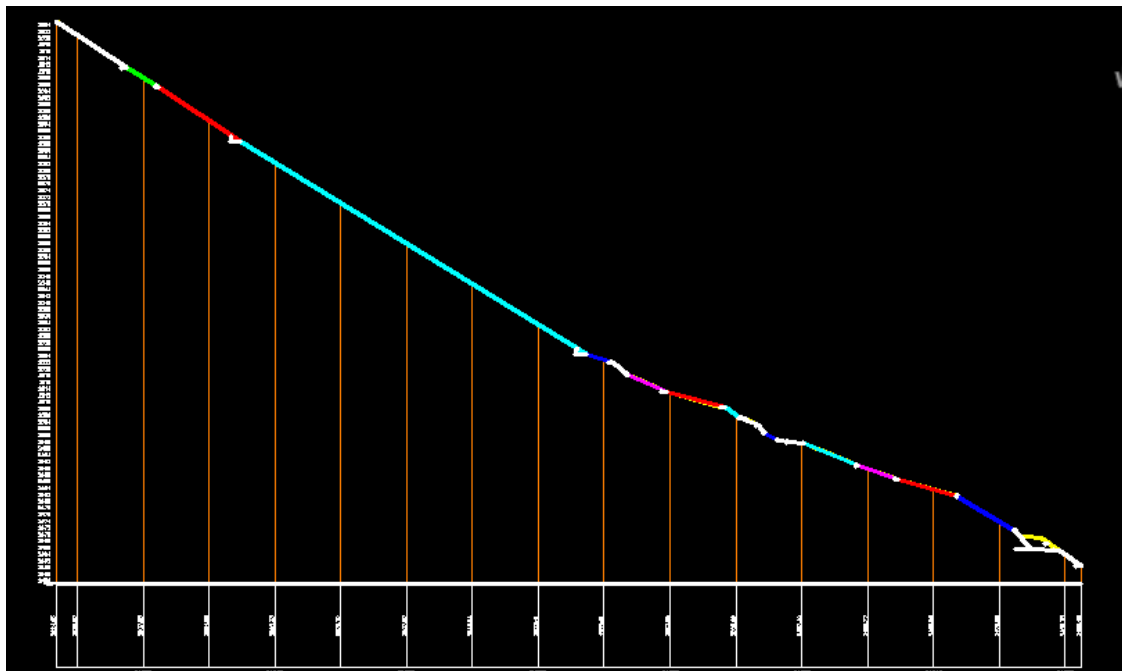
### TABLA DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA.

#### TECH-C-6 Atmospheric Pressure, Barometer Reading and Boiling Point of Water at Various Altitudes

Altitude		Barometric Reading		Atmos. Pressure		Boiling Pt. Of Water °F
Feet	Meters	In. Hg.	Mm. Hg.	psia	Ft. Water	
— 1000	— 304.8	31.0	788	15.2	35.2	213.8
— 500	— 152.4	30.5	775	15.0	34.6	212.9
0	0.0	29.9	760	14.7	33.9	212.0
+ 500	+ 152.4	29.4	747	14.4	33.3	211.1
+ 1000	+ 304.8	28.9	734	14.2	32.8	210.2
1500	457.2	28.3	719	13.9	32.1	209.3
2000	609.6	27.8	706	13.7	31.5	208.4
2500	762.0	27.3	694	13.4	31.0	207.4
3000	914.4	26.8	681	13.2	30.4	206.5
3500	1066.8	26.3	668	12.9	29.8	205.6
4000	1219.2	25.8	655	12.7	29.2	204.7
4500	1371.6	25.4	645	12.4	28.8	203.8
5000	1524.0	24.9	633	12.2	28.2	202.9
5500	1676.4	24.4	620	12.0	27.6	201.9
6000	1828.8	24.0	610	11.8	27.2	201.0
6500	1981.2	23.5	597	11.5	26.7	200.1
7000	2133.6	23.1	587	11.3	26.2	199.2
7500	2286.0	22.7	577	11.1	25.7	198.3
8000	2438.4	22.2	564	10.9	25.2	197.4
8500	2590.8	21.8	554	10.7	24.7	196.5
9000	2743.2	21.4	544	10.5	24.3	195.5
9500	2895.6	21.0	533	10.3	23.8	194.6
10000	3048.0	20.6	523	10.1	23.4	193.7
15000	4572.0	16.9	429	8.3	19.2	184.0

## ANEXO T

### ESTUDIO VERTICAL DEL PROYECTO.



## ANEXO U

### MODULO DE ELASTICIDAD DEL MATERIAL.

Tabla 3.9 Propiedades físicas de materiales para tuberías				
Material	Módulo de Young GN/m <sup>2</sup>	Coef. exp. lineal m/m°C	Esfuerzo de rotura MN/m <sup>2</sup>	Densidad kN/m <sup>3</sup>
Acero bajo %C	207	$12 \times 10^{-6}$	350	78.6
PVC	2.75	$54 \times 10^{-6}$	28	14
Polietileno	0.19-0.78	$140 \times 10^{-6}$	5.9-8.8	9.4
Hierro dúctil	170	$11 \times 10^{-6}$	310-520	70

## ANEXO V

### COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA (ACERO)

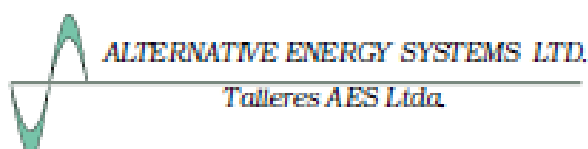
Material	$\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
Hormigón	$2.0 \times 10^{-5}$
Acero	$1.1 \times 10^{-5}$
Hierro	$1.2 \times 10^{-5}$
Plata	$2.0 \times 10^{-5}$
Oro	$1.5 \times 10^{-5}$
Invar	$0,04 \times 10^{-5}$
Plomo	$3.0 \times 10^{-5}$
Zinc	$2.6 \times 10^{-5}$
Aluminio	$2.4 \times 10^{-5}$
Latón	$1.8 \times 10^{-5}$
Cobre	$1.7 \times 10^{-5}$
Vidrio	$0.7 \text{ a } 0.9 \times 10^{-5}$
Cuarzo	$0.04 \times 10^{-5}$
Hielo	$5.1 \times 10^{-5}$
Diamante	$0.12 \times 10^{-5}$
Grafito	$0.79 \times 10^{-5}$



# **SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS ELECTROMECAÓNICOS**

## ANEXO W

### COTIZACION DE LA TURBINA HIDRAULICA



Señores:  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador,  
Atención: Ing. Marcelino Cárdenas <cardenas\_mg88@hotmail.com>

Cochabamba, Bolivia, 15 enero 2013

Ref. Nuestra oferta 03/2013

De nuestra consideración:

En respuesta a su requerimiento vía e-mail de fecha 17 de diciembre 2012, tenemos el agrado de cotizar los siguientes equipos:

Item	Cant.	Descripción	Unidad	P.U. €	Total €
1	4	Entrada del agua a la turbina			
1.1	4	Contra-brida DN 800 PN 25 para soldar a la tubería de ajuste.			
1.2	4	Tubo de aproximadamente 600 mm para soldar a la tubería de ajuste, antes de la válvula de mariposa.			
1.3	4	Válvula principal de mariposa DN 800 PN 25 de apertura con servomotor y cierre por contrapeso.			
1.4	4	Unión de montaje DN 800 PN 25 para colocar entre la válvula principal y la turbina.			
1.5	4	Válvula by pass DN 60 PN 25 para balancear presiones antes de abrir la válvula principal.			
	4	Sub - total ítem 1	juego	36800	147200
2	4	Turbina			
2.1	4	Tubería de distribución con brida de ingreso DN 800 y 4 inyectores controlados por servomotores hidráulicos. Cuerpos y agujas de inyectores en acero Inox 1.4313			
2.2	4	Rueda Pelton para eje vertical y 4 inyectores, Hn = 161 m, Qn = 1.86 m <sup>3</sup> /s, n = 600, P en eje 2665 kW, eficiencia hidráulica nominal 90.8%, rotor en acero Inox 1.4313 de diámetro principal (pitch) 830 mm			
2.3	4	Carcasa de la turbina, soldada en acero al carbón, con costillas de rigidez, tuberías de aereación y prensaestopas para 4 orificios de montaje para los inyectores			
2.4	4	Marco de fundación para la turbina y material de anclaje			
	4	Sub - total ítem 2	juego	381800	1527200



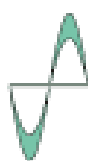
3	4	<b>Gobernador</b>			
3.1	4	Sistema gobernador oleo- hidráulico para control completamente automático de los 4 inyectores, incluyendo regulación fina para sincronización y control de las válvulas by pass y principal de mariposa integrado al sistema de bombeo.			
3.2	4	Equipo de bombeo para gobernar la turbina y la válvula principal.			
	4	Sub - total ítem 3	juego	31050	124200
4	4	<b>Generador</b>			
4.1	4	Generador sincrónico, trifásico, sin escobillas, excitado por diodos rotativos, regulación automática de voltaje tipo digital (Basler DECO 200), enfriado por aire, de eje vertical, potencia nominal 3000 kVA, factor de potencia 0.85, velocidad 600 r.p.m., voltaje 6.3kV, frecuencia 60 Hz, protección IP 23, aislamiento clase F / B, con extensión de eje para montaje directo del rotor Pelton de la turbina. Norma EN 34-1			
	4	Sub - total ítem 4	pieza	331200	1324800
5	4	<b>Equipo auxiliar</b>			
5.1	4	Sistema de bombeo de agua para enfriamiento del sistema. El agua sería bombeada del pozo debajo de la turbina, luego filtrada y distribuida al equipo de bombeo del gobernador de la turbina y a los rodamientos del generador.			
	4	Sub - total ítem 5	juego	24150	96600
		<b>PRECIO TOTAL, puesto talleres, por 4 equipos hidro-generadores completos, incluyendo ítems 1 al 5 arriba descritos, o/u de 2.6 MW neto en bornes de generador.</b>	€	3.220.000	

**Adicionales**

1	Diseño de Ingeniería Básica	€	22770	22770
1	Supervisión de Montaje, Pruebas y Puesta en Servicio	€	212750	212750
	<b>GRAN TOTAL</b>	€	<b>3.466.620</b>	

En palabras: tres millones, cuatrocientos cincuenta y cinco mil, quinientos veinte Euros.

Los precios para diseño de Ingeniería Básica, así como los de Supervisión de Montaje, Pruebas y Puesta en Servicio, no incluyen costos de viaje, ni alojamiento, ni alimentación para el personal participante..



ALTERNATIVE ENERGY SYSTEMS LTD.

Talleres AES Ltda.

### Garantías

Garantía original de fábrica: un año a partir de la entrega ex – fábrica.

Garantía contra cavitación de acuerdo a IEC-Standard 609

La eficiencia de las turbinas y potencias garantizadas serán medidas durante la puesta en servicio.

Las unidades ofertadas están diseñadas solo para operación permanente en paralelo con la red principal. Se asume que la potencia en la red es suficientemente estable y éstas unidades no tendrán influencia en la estabilidad de la red.

### Forma de pago:

20% adelanto.  
10% contra entrega de ingeniería básica.  
70% con flujo de caja neutro.

### Plazo de entrega:

11 a 14 meses después de la firma de contrato.

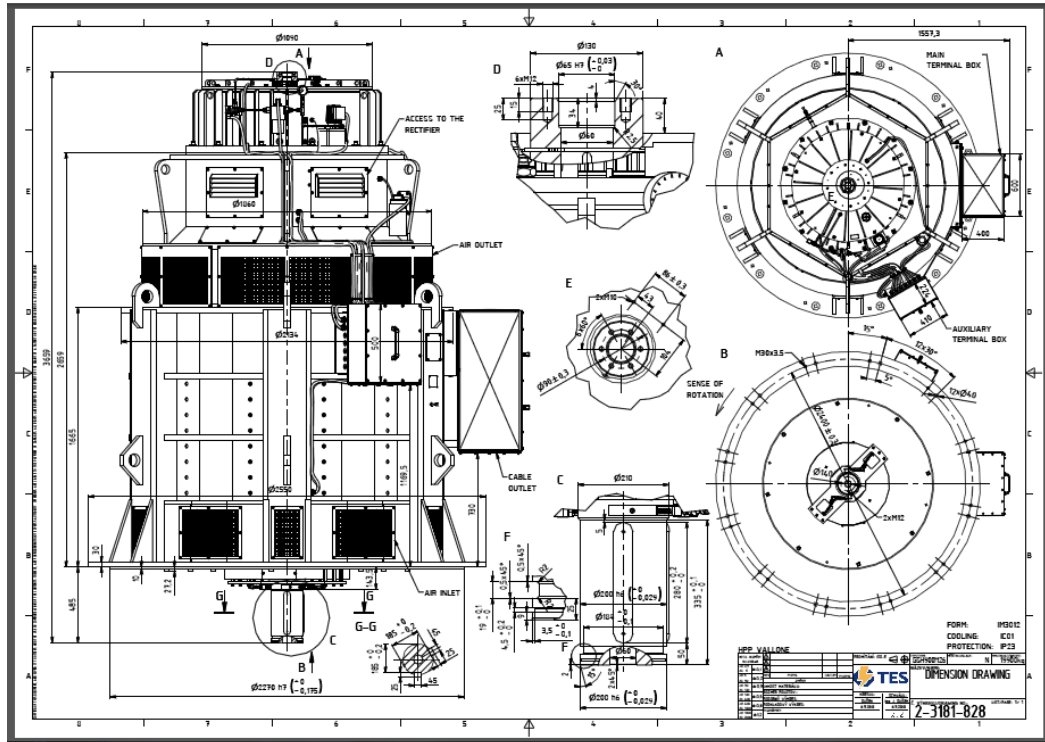
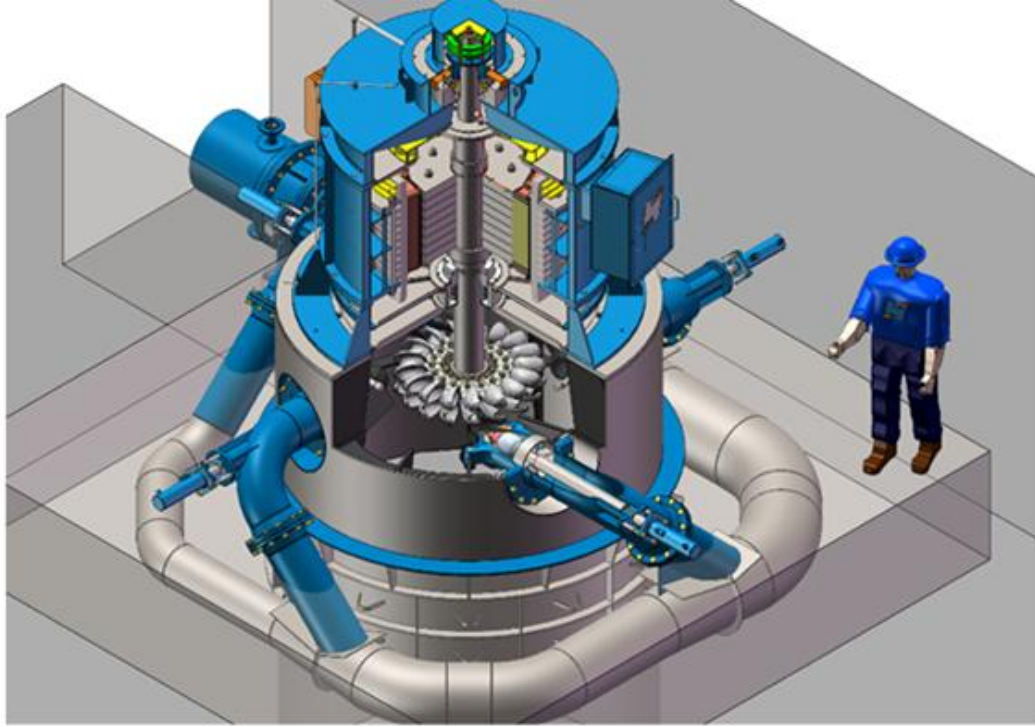
### Validez:

En caso de aceptación, la presente propuesta constituye documento contractual. Es válida hasta el día 15 de febrero de 2013 inclusive.

En espera de sus amables órdenes saludamos a Uds.  
Muy atentamente,

Miguel Alandia  
Director Gerente

(Doc. Sin firma, transmitido electrónicamente)



## ANEXO X

### COTIZACION VALVULAS DE MARIPOSA

Date: Thu, 13 Dec 2012 14:52:33 +0100  
Subject: RE: [WEB SIGEVAL] Contacto Cotizacion Valvula de Mariposa  
From: patricia@sigeval.com  
To: cardenas\_mg88@hotmail.com

Buenos días S. Cárdenas,

Por favor tome nota de nuestra oferta 1479/12

VÁLVULA DE MARIPOSA TIPO FLN (w)-3

Cuerpo: Wafer fundición nodular GGG-40 + epoxy

Disco: Fundición nodular GGG-40 + Epoxy

Eje: Acero inox CF8M

Actuador: Acero inox AISI 420

Asiento: EPDM

Presión máxima de trabajo : 16 bar

Norma de taladro : PN 16

QTY	DN	PRECIO
2	800	4 246,87

#### CONDICIONES COMERCIALES

- PRECIO NETO
- Plazo de entrega: 2 semanas

# **ANEXOS VALORACIÓN ECONÓMICA**

## ANEXO Z

### : TASA DE INTERES DEL BANCO CENTRAL DEL ECUADOR

Tasas de Interés			
ABRIL 2011			
1. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES			
Tasas Referenciales		Tasas Máximas	
Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento:	% anual	Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:	% anual
Productivo Corporativo	8.25	Productivo Corporativo	9.33
Productivo Empresarial	9.71	Productivo Empresarial	10.21
Productivo PYMES	11.24	Productivo PYMES	11.83
Consumo	15.90	Consumo	16.30
Vivienda	10.47	Vivienda	11.33
Microcrédito Acumulación Ampliada	23.00	Microcrédito Acumulación Ampliada	25.50
Microcrédito Acumulación Simple	25.20	Microcrédito Acumulación Simple	27.50
Microcrédito Minorista	28.28	Microcrédito Minorista	30.50
2. TASAS DE INTERÉS PASIVAS EFECTIVAS PROMEDIO POR INSTRUMENTO			
Tasas Referenciales	% anual	Tasas Referenciales	% anual
Depósitos a plazo	4.51	Depósitos de Ahorro	1.48
Depósitos monetarios	0.91	Depósitos de Tarjetahabientes	0.64
Operaciones de Reporto	0.26		
3. TASAS DE INTERÉS PASIVAS EFECTIVAS REFERENCIALES POR PLAZO			
Tasas Referenciales	% anual	Tasas Referenciales	% anual
Plazo 30-60	3.69	Plazo 121-180	5.07
Plazo 61-90	3.96	Plazo 181-360	5.69
Plazo 91-120	4.71	Plazo 361 y más	6.39
4. <u>TASAS DE INTERES PASIVAS EFECTIVAS MAXIMAS PARA LAS INVERSIONES DEL SECTOR PÚBLICO</u>			



(según regulación No. 009-2010)			
<b>5. <a href="#">TASA BÁSICA DEL BANCO CENTRAL DEL ECUADOR</a></b>			
<b>6. OTRAS TASAS REFERENCIALES</b>			
Tasa Pasiva Referencial	4.51	Tasa Legal	8.25
Tasa Activa Referencial	8.25	Tasa Máxima Convencional	9.33
<b>7. <a href="#">Tasa Interbancaria</a></b>			
<b>8. <a href="#">Boletín de Tasas de Interés</a></b>			
8.1. <a href="#">Boletín Semanal de Tasas de Interés</a>			
<b>9. Información Histórica de Tasas de Interés</b>			
9.1. <a href="#">Tasas de Interés Efectivas</a>			
9.2. <a href="#">Resumen Tasas de Interés</a>			
9.3. <a href="#">Tasas de Interés por Tipo de Crédito</a> (Vigente hasta julio de 2007)			
9.4. <a href="#">Boletines Semanales de Tasas de Interés</a>			
<b>10. Material de Apoyo:</b>			
10.1. <a href="#">Instructivo de Tasas de Interés – Incluye ejemplos</a>			
<b>11. Informes de Tasas de Interés:</b>			
11.1. <a href="#">Evolución del Crédito y Tasas de Interés</a> (Vigente hasta julio de 2007)			
<b>12. Base legal:</b>			
12.1. <a href="#">Base Legal: Regulación No. 153 del Directorio del Banco Central del Ecuador</a>			
12.2. <a href="#">Base Legal: Regulación No. 154 del Directorio del Banco Central del Ecuador</a>			
12.3. <a href="#">Base Legal: Regulación No. 161 del Directorio del Banco Central del Ecuador</a>			
12.4. <a href="#">Base Legal: Regulación No. 184 del Directorio del Banco Central del Ecuador</a>			
12.5. <a href="#">Base Legal: Regulación No. 190 del Directorio del Banco Central del Ecuador</a>			
12.6. <a href="#">Base Legal: Regulación No. 197 del Directorio del Banco Central del Ecuador</a>			
12.7. <a href="#">Base Legal: Regulación No. 198 del Directorio del Banco Central del Ecuador</a>			
12.8. <a href="#">Base Legal: Regulación No. 009-2010 del Directorio del Banco Central del Ecuador</a>			
<p>Para mayor información, contáctenos: <a href="mailto:prod.dgs@bce.ec">prod.dgs@bce.ec</a></p>			

# ANEXO Z'

## FACTORES DE INTERÉS PARA EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tabla 10.1		Factor de capital compuesto - pago único													
		Hallar "F" dado "P" (F/P, i, n)													
n \ i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
1	1.010	1.020	1.030	1.040	1.050	1.060	1.070	1.080	1.090	1.100	1.120	1.150	1.200	1.250	1.300
2	1.020	1.040	1.061	1.082	1.103	1.124	1.145	1.166	1.188	1.210	1.254	1.323	1.440	1.563	1.690
3	1.030	1.061	1.093	1.125	1.158	1.191	1.225	1.260	1.295	1.331	1.405	1.521	1.726	1.953	2.197
4	1.041	1.082	1.126	1.170	1.216	1.262	1.311	1.360	1.412	1.464	1.574	1.749	2.074	2.441	2.856
5	1.051	1.104	1.159	1.217	1.276	1.336	1.403	1.469	1.539	1.611	1.762	2.011	2.468	3.052	3.713
6	1.062	1.126	1.194	1.265	1.340	1.419	1.501	1.587	1.677	1.772	1.974	2.313	2.966	3.815	4.827
7	1.072	1.149	1.230	1.316	1.407	1.504	1.606	1.714	1.828	1.949	2.211	2.690	3.593	4.768	6.276
8	1.083	1.172	1.267	1.369	1.477	1.594	1.718	1.851	1.993	2.144	2.478	3.059	4.300	5.960	8.157
9	1.094	1.192	1.305	1.423	1.551	1.693	1.838	1.999	2.172	2.359	2.773	3.518	5.160	7.451	10.606
10	1.105	1.219	1.344	1.480	1.629	1.791	1.967	2.159	2.367	2.594	3.106	4.046	6.192	9.313	13.786
11	1.116	1.243	1.384	1.539	1.710	1.898	2.105	2.332	2.580	2.853	3.479	4.652	7.430	11.642	17.922
12	1.127	1.268	1.426	1.601	1.796	2.012	2.252	2.518	2.813	3.136	3.896	5.350	8.916	14.552	23.928
13	1.138	1.284	1.469	1.665	1.886	2.133	2.410	2.720	3.066	3.452	4.364	6.153	10.699	18.130	30.388
14	1.149	1.319	1.513	1.732	1.990	2.261	2.579	2.942	3.342	3.796	4.867	7.076	12.639	22.737	39.374
15	1.161	1.345	1.558	1.801	2.079	2.397	2.759	3.172	3.642	4.177	5.474	8.137	15.407	28.422	51.186
16	1.173	1.373	1.606	1.873	2.183	2.540	2.962	3.426	3.970	4.595	6.130	9.350	18.488	35.537	68.542
17	1.184	1.400	1.653	1.949	2.292	2.693	3.159	3.703	4.328	5.054	6.866	10.761	22.186	44.459	86.504
18	1.196	1.428	1.702	2.026	2.407	2.854	3.360	3.966	4.717	5.560	7.690	12.375	26.623	55.511	112.455
19	1.208	1.457	1.754	2.107	2.527	3.036	3.617	4.316	5.142	6.116	8.613	14.232	31.948	69.389	146.192
20	1.220	1.486	1.806	2.191	2.653	3.207	3.870	4.681	5.624	6.728	9.646	16.367	38.338	88.736	190.050
21	1.232	1.516	1.860	2.279	2.786	3.400	4.141	5.024	6.109	7.400	10.804	18.822	46.035	108.420	247.865
22	1.245	1.546	1.916	2.370	2.925	3.604	4.430	5.437	6.639	8.140	12.100	21.645	55.206	135.525	321.184
23	1.257	1.577	1.974	2.455	3.072	3.820	4.741	5.871	7.258	8.954	13.532	24.891	66.247	169.407	417.539
24	1.270	1.608	2.033	2.563	3.226	4.049	5.072	6.341	7.911	9.850	15.179	28.625	79.497	211.759	543.801
25	1.282	1.641	2.094	2.666	3.386	4.292	5.457	6.848	8.623	10.835	17.000	32.919	95.396	264.698	705.641
26	1.295	1.673	2.157	2.772	3.556	4.549	5.807	7.396	9.399	11.918	19.040	37.857	114.475	330.872	917.333
27	1.308	1.707	2.221	2.883	3.720	4.822	6.214	7.996	10.245	13.110	21.325	43.536	137.371	413.590	1193.533
28	1.321	1.741	2.288	2.999	3.920	5.112	6.649	8.627	11.167	14.421	23.894	50.066	164.845	516.888	1593.293
29	1.335	1.776	2.357	3.119	4.116	5.418	7.114	9.317	12.172	15.963	26.750	58.235	197.814	646.235	2015.381
30	1.346	1.811	2.427	3.243	4.322	5.744	7.612	10.003	13.268	17.469	29.960	66.212	237.376	807.794	2619.696
31	1.361	1.848	2.500	3.373	4.538	6.088	8.145	10.868	14.462	19.194	33.555	75.144	284.852	1009.742	3405.694
32	1.375	1.886	2.575	3.508	4.765	6.453	8.715	11.737	15.763	21.114	37.582	87.565	341.632	1262.177	4427.793
33	1.389	1.922	2.652	3.648	5.003	6.841	9.325	12.676	17.182	23.225	42.092	100.786	410.186	1577.722	5795.130
34	1.403	1.961	2.732	3.789	5.253	7.251	9.978	13.690	18.728	25.548	47.143	115.805	492.274	1972.152	7662.970
35	1.417	2.000	2.814	3.946	5.516	7.666	10.677	14.785	20.414	28.102	52.830	133.176	590.668	2465.190	9727.860



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GAD DE LA PARROQUIA “EL ALTAR”, Plan de Ordenamiento Territorial 2011, Pág. 34, 37, 55, 85.
- [2] GAD DE LA PROVINCIA DE “CHIMBORAZO”, Plano General de la Provincia.
- [3] ITDG. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para desarrollo de proyectos. Perú-Lima, 1995, Pág. 56-62, 74-75, 84-86, 125-127, 52, 63-69, 127.
- [4] DÁVILA, C.; Vilar, D.; Villanueva, G. Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de Microcentrales hidroeléctricas. Lima: Soluciones Prácticas, 2010.
- [5] QUIROZ, L Guía para estudios de Prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas
- [6] <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/.html>.
- [7] CNRH, Estudio Hidrológico de la Subcuenca del Río Chambo e Implementación de un Modelo Hidrológico, Quito – Ecuador, 2007, Pág. 25.
- [8] FREIRE, Edwin. Elaboración e Implementación de un Software para el Diseño de Centrales Hidroeléctricas hasta 10MW. Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador, 2010. Pág. 59.
- [9] ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Editorial Mc Graw-Hill, Primera Edición, Colombia – Bogotá, 2001, Pág. 204-205, 141, 135, 205-209, 238-271.

- [10] KROCHIN, S. Diseño Hidráulico. Editorial EPN, Tercera Edición, Ecuador – Quito, 1986. Pág. 46- 47, 131, 146, 182 – 295, 303- 306, 314 , 316.
- [11] RIOFRÍO, P. Micro Hidroenergía . Riobamba: Documento, 2007
- [12] AZEVEDO, Netto. Manual de hidráulica. Editorial Harla. México, 1980.
- [13] TELLO, Fernando. Estudio de factibilidad sistema de turbobombeo comunidad Cananvalle
- [14] JAMETT D. Gabriela. Evaluación del instrumento caudal ecológico.
- [15] OROZCO, Merino. Estudio de Factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Chachimbiro. Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador, 2009. Pág.103
- [16] MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Ediciones Del Castillo, S.A, Segunda Edición, Madrid-España, 1986. Pág. 113, 206, 175, 486, 493, 194-195.
- [17] SHIGLEY, J. Diseño en Ingeniería Mecánica. 6ta.ed. México: McGraw-Hill, 2002.
- [18] MEGYESY, Eugene. Pressure Vessel Handbook. Editorial PV Pub Inc – Estados Unidos.
- [19] VOEST-ALPINE, Catalogo para la selección del tipo de turbinas, [Ingeniería, 1999: p.26].
- [20] [http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/\\_y\\_m.html](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/_y_m.html).

- [21] FAÚNDEZ GARRIDO, María José, Análisis de impactos ambientales, medidas de mitigación, reparación y compensación “Proyecto de Transmisión Eléctrica Central Hidroeléctrica Osorno”, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de geografía.
- [22] <http://www2.eve.es/web/Energias-Renovables/productos/Infografias/La-Energia-Hidroelectrica/La-Energia-Hidroelectrica-A.aspx>.
- [23] [http://www.codeso.com/TurismoEcuador/Mapa\\_Chimborazo.html](http://www.codeso.com/TurismoEcuador/Mapa_Chimborazo.html).

## **BIBLIOGRAFÍA**

AZEVEDO, Netto. Manual de hidráulica. Editorial Harla. México: ESPOCH, 1980.

BRICEÑO, Eduardo. Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas. Soluciones Prácticas-ITDG. Primera edición. Perú, 2008.

CNRH, Estudio Hidrológico de la Subcuenca del Río Chambo e Implementación de un Modelo Hidrológico, Quito – Ecuador, 2007.

DÁVILA, C.; Vilar, D.; Villanueva, G. Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de Microcentrales hidroeléctricas. Lima: Soluciones Prácticas, 2010.

FAÚNDEZ GARRIDO, María José, Análisis de impactos ambientales, medidas de mitigación, reparación y compensación “Proyecto de Transmisión Eléctrica Central Hidroeléctrica Osorno”, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de geografía.

FREIRE, Edwin. Elaboración e Implementación de un Software para el Diseño de Centrales Hidroeléctricas hasta 10MW. Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ITDG. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para desarrollo de proyectos. Perú-Lima: ESPOCH, 1995.

KROCHIN, S. Diseño Hidráulico. Editorial EPN, Tercera Edición, Ecuador – Quito, 1986.

MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Ediciones Del Castillo, S.A., Segunda Edición, Madrid-España, 1986.

MEGYESY, Eugene. Pressure Vessel Handbook. Editorial PV Pub Inc – Estados Unidos.

OROZCO, Merino. Estudio de Factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Chachimbiro. Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador, 2009.

ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Editorial Mc Graw-Hill, Primera Edición, Colombia – Bogotá, 2001.

RIOFRÍO, P. Micro Hidroenergía . Riobamba: Documento, 2007

SHIGLEY, J. Diseño en Ingeniería Mecánica. 6ta.ed. México: McGraw-Hill, 2002.



## **LINKOGRAFÍA**

### **ENERGIA RENOVABLE**

<http://www2.eve.es/web/Energias-Renovables/productos/Infografias/La-Energia-Hidroelectrica/La-Energia-Hidroelectrica-A.aspx>.

2012- Noviembre-23

### **MÁQUINAS HIDRÁULICAS**

[http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/turbinas.hidraulicas/turbinas\\_hidraulicas.html](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/turbinas.hidraulicas/turbinas_hidraulicas.html).

2012-Octubre-12

### **TASAS DE INTERÉS DEL BANCO CENTRAL DEL ECUADOR**

<http://www.bce.fin.ec/docs.phd?path=documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>

2012-Noviembre- 09